

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



TIHANA RONČEVIĆ

**OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE: FOTONAPONSKA
ELEKTRANA**

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



TIHANA RONČEVIĆ

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE: FOTONAPONSKA ELEKTRANA

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja znanja magistra edukacije fizike i informatike

Osijek, 2018.

„Ovaj diplomski rad izrađen je u Orahovici pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE: FOTONAPONSKA ELEKTRANA

TIHANA RONČEVIĆ

Sažetak

Cilj diplomskog rada je upoznati se s načinima pretvorbe solarne energije u električnu energiju te komponente od kojih se sastoji solarni sustav i na koji način oni rade.

U prvom dijelu rada obrađeno je Sunčevo zračenje te koliko je ono važno za život na Zemlji. Izložene su osnovne teorije rada fotonaponskih ćelija, njihov razvoj, princip rada te njihova izrada. Opisani su fotonaponski moduli, detaljan opis fotonaponskih sustava i njihove komponente.

Prikazana je solarna elektrana u Orahovici i njezine karakteristike.

Zadnji dio rada obuhvaća trenutnu situaciju u Republici Hrvatskoj i svijetu što se tiče obnovljivih izvora energije.

(53 stranica, 27 slika, 14 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: Sunčevo zračenje, fotonaponske ćelije, fotonaponski moduli, fotonaponski sustavi, fotonaponska elektrana, obnovljivi izvori energije

Mentor: doc. dr. sc. Denis Stanić

Ocjenjivač:

Rad prihvaćen:

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE: FOTONAPONSKA ELEKTRANA

TIHANA RONČEVIĆ

Abstract:

The aim of the thesis is to get acquainted with the ways of converting solar energy into electricity and the components of which the solar system consists of and in what way they work.

In the first part of the thesis I will write about solar radiation and why it is important for life on earth. I will outline the basic theory of photovoltaic cells, their development, the principle of work, and their creation. I describe photovoltaic modules, photovoltaic systems and their components.

Furthermore, I will deal with the solar power plant in Orahovica and its characteristics. The last part of the paper cover the current situation in the Republic of Croatia and in the world regarding renewable energy sources.

(53 pages, 27 figures, 14 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: Solar radiation, photovoltaic cells, photovoltaic modules, photovoltaic systems, photovoltaic power plants, renewable energy sources

Supervisor: Assistant professor Denis Stanić, PhD

Reviewers:

Thesis accepted:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. O SUNCU	2
2.1. Sunčeva energija i zračenje	3
2.2. Važnost sunčeve energije	7
3. FIZIKALNE OSNOVE	8
3.1. Kristali	8
3.2. Poluvodiči	9
3.3. Poluvodička dioda (PN-spoj)	10
3.4. Fotonaponski efekt	11
4. SOLARNE ĆELIJE	12
4.1. Povijest razvoja solarnih ćelija	12
4.2. Princip rada solarne ćelije	13
4.3. Izrada solarnih ćelija	19
4.4. Fotonaponski moduli	22
5. FOTONAPONSKI SUSTAVI	23
5.1. Samostalni ili otočni fotonaponski sustavi	25
5.2. Hibridni fotonaponski sustavi	26
5.3. Mrežni sustavi	27
5.3.1. Mrežni sustavi izravno priključeni na javnu mrežu	28
5.3.2. Mrežni sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije	30
5.3.3. Mrežno spojene sunčeve elektrane	31
6. Fotonaponska elektrana	32
6.1. Fotonaponska elektrana u Orahovici	33
6.1.1. Osnovni podaci o fotonaponskoj elektrani u Orahovici	34
7. TRENUTNA SITUACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA	44
7.1. Stanje u Europskoj Uniji i svijetu	44
7.2. Stanje u Republici Hrvatskoj	46
8. ZAKLJUČAK	48
POPIS LITERATURE	49
ŽIVOTOPIS	53

1. UVOD

Prirodni oblici energije mogu se podijeliti s obzirom na njihovu vremensku iscrpljivost na neobnovljive oblike i obnovljive oblike energije. U neobnovljive oblike energije ubrajamo fosilna goriva kao što su ugljen, nafta, zemni plin, zatim nuklearna goriva i geotermalnu energiju tj. unutarnju toplinu Zemlje. Pod obnovljive izvore energije ubrajamo vodne snage poput energije vodotokova, morskih struja i valova, plime i oseke, zatim biomasu, energiju sunčeva zračenja i energiju vjetra.

Obnovljivi izvori energije se dobivaju iz prirode te se mogu iz dana u dan obnavljati. Najvažniji obnovljivi izvor energije je Sunce koji ima veliki potencijal u iskorištenju energije te doprinosi zaštiti okoliša. Fosilnih goriva je sve manje stoga se pretpostavlja da bi mogli za nekoliko desetaka godina ostati bez njih, te se upravo zbog toga očituje veliki porast cijena i veliko onečišćenje okoliša koje utječe na klimatske promjene.

Važnosti istraživanja energije Sunca i pretvorbe energije sunčeva zračenja omogućava rješavanje problema energetske krize.

Pomoću solarnih ćelija iskorištavamo sunčevu energiju, a za njihovu izradu potreban je poluvodljivi materijal poput kristalnog silicija koji je trenutno najzastupljeniji materijal.

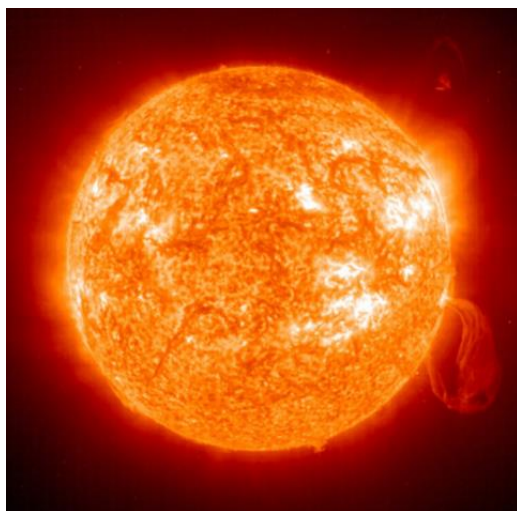
Fotonaponski sustavi imaju brojne prednosti kao što su besplatna sunčeva energija, čista pretvorba energije, moguće je i napajanje potrošača na mjestima gdje nema elektroenergetskog sustava, pouzdano je te su mali troškovi, osigurava dugogodišnji vijek trajanja fotonaponskih modula. Kao nedostatke možemo navesti da su potrebne velike površine za izgradnju veće elektrane, sama tehnologija je još uvijek skupa te proizvodnja energije ovisi o osunčanosti.

Hrvatska ima povoljan geografski položaj za izgradnju fotonaponskih sustava, a tri su načina upotrebe Sunčeve energije. Pretvorba sunčeve energije u električnu energiju, toplinsku i biomasu.

Sunčevu energiju koristimo za pretvorbu u toplinsku energiju za pripremu potrošne tople vode i grijanja te u solarnim elektranama. Pretvorba energije Sunca u električni oblik vrši se pomoću fotonaponskih ćelija, a sama količina dobivene električne energije ovisi o kutu upada Sunčevih zraka. Stoga nam je potrebno pratiti kretanje Sunca budući da Zemlja rotira oko svoje osi i oko Sunca te tako dolazi do promjene kuta upada Sunčevih zraka na površinu Zemlje odnosno na fotonaponski kolektor.

2. O SUNCU

Sunce je glavni izvor elektromagnetskog zračenja koje prolazi atmosferom i gotovo je neiscrpan obnovljiv izvor energije. Daje nam energiju koja održava život, pokreće atmosferu i u različitim sustavima oblikuje gibanja, vrijeme i klimu.



Slika 1. Sunce [1]

Sunce je nastalo od nakupine međuzvezdanog plina i prašine koja se počela sažimati zbog gravitacijskog privlačenja. To je prouzročilo rast temperature, a zbog zagrijavanja plin je počeo zračiti. Kako se Sunce sve više sažimalo, rasla je i temperatura i gustoća, sve do točke kada su stvoreni uvjeti za početak termonuklearnih reakcija.

Nuklearna fuzija vodika u helij odvija se na Suncu oko 5 milijardi godina, kolika je njegova procjena starosti, a prema zalihama vodika ostaje mu još toliko dok ne potroši sav raspoloživi vodik za fuziju, a to je oko 10% ukupne količine vodika na Suncu.

Burne reakcije koje se događaju na Suncu svake sekunde u obliku solarnog vjetra odnose tvar ukupne mase od 3000 tona. To nam govori da je potrebno oko 200 000 milijardi godina kako bi sa Sunca otišla sva cjelokupna tvar. Ova ogromna količina energije dobivena termonuklearnim reakcijama u unutrašnjosti Sunca stvorila nam je uvjete za život te dovoljne zalihe energije kojima se svakodnevno koristimo.

2.1. Sunčeva energija i zračenje

Snaga sunčevog zračenja iznosi oko $3,8 \cdot 10^{23}$ kW od čega Zemlja dobiva oko $1,75 \cdot 10^{14}$ kW ili $1,53 \cdot 10^{18}$ kWh/god. Zemlja od Sunca godišnje dobiva oko $4 \cdot 10^{21}$ kJ energije što je nekoliko tisuća puta više nego što iznosi ukupna godišnja potrošnja energije iz svih primarnih izvora. To znači da Zemlja u jednom satu od Sunca primi dovoljno energije za zadovoljenje svih svojih godišnjih energetske potrebe. [2]

Osnovni pojmovi vezani uz Sunčevo zračenje:

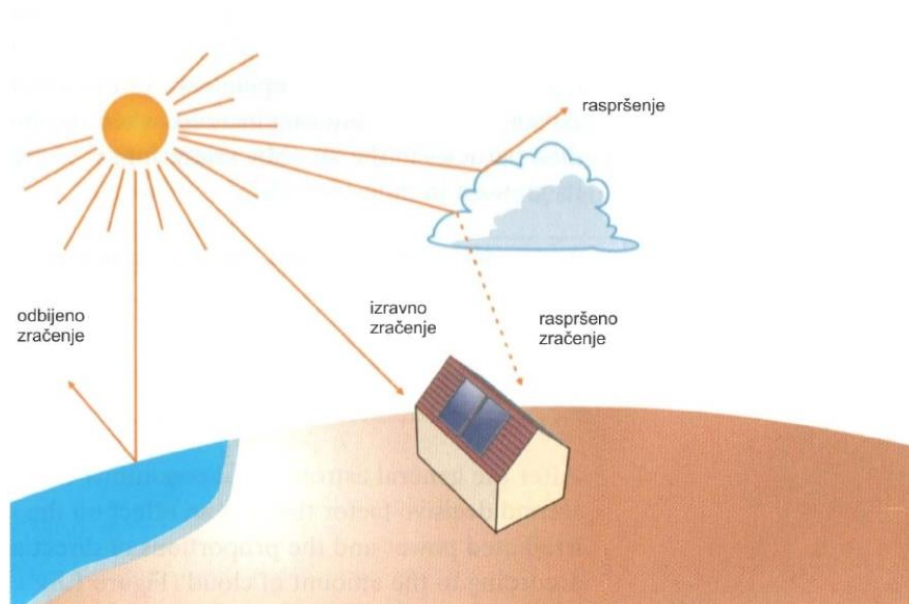
- Ozračenje (iradijancija) je gustoća energetske toga Sunčevog zračenja i jednaka je omjeru energetske toka Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Jedinica za ozračenje je vat po metru kvadratnom (W/m^2)
- Ozračenost (iradijacija) je gustoća dozračenja energije koja u promatranom vremenu upadne na jediničnu površinu plohe. Dobiva se integriranjem ozračenja po vremenu, a jedinica za ozračenost je vat sat po metru kvadratnom (Wh/m^2). Ovisno o promatranom vremenskom intervalu ozračenost se često naziva satna, dnevna, mjesečna ili godišnja suma zračenja. [4]

Na putu kroz atmosferu Sunčevo zračenje slabi jer se apsorbira zbog interakcije s plinovima i vodenom parom i raspršuje na molekulama plinova i česticama prašine. Zbog toga Sunčevo zračenje do tla dopijeva kao izravno i kao raspršeno zračenje.

Ovisno o njegovom upadu na plohe na Zemlji ono može biti:

- direktno (izravno, neposredno) zračenje: zračenje koje nije bilo raspršeno ili apsorbirano. Dolazi iz smjera izvora. Ono je malih valnih duljina te se stoga još naziva kratkovalno zračenje Sunca.

- raspršeno (difuzno) zračenje: Sunčevo zračenje koje se u atmosferi raspršilo na atmosferskim sastojcima te stoga dolazi iz svih smjerova.
- odbijeno (reflektirano): zračenje koje na plohu dolazi nakon odbijanja od nekih drugih okolnih ploha (tla ili vodenih površina).

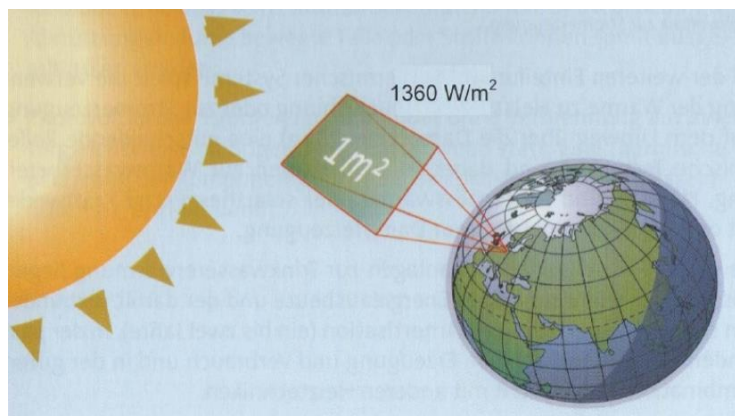


Slika 2: Sunčevo zračenje [13]

Najveća komponenta sunčevog zračenja je izravna, pa bi najveće ozračenje trebalo tražiti na plohi okomitoj na pravac sunčevih zraka. Najveće ozračenje moguće je ako se navedenom plohom konstantno prati kretanje Sunca na nebu. To se danas može postići korištenjem optičke sprave koja se naziva heliostat. Ona prati gibanje Sunca i Sunčevu svjetlost reflektira na odabrano mjesto. Najčešće se koristi za proizvodnju električne energije te u astronomiji služi za promatranje Sunca.

Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu naziva se ekstraterestičko zračenje. To zračenje opisujemo gustoćom energijskog toka koji upada na površinu okomitu na smjer upadnih Sunčevih zraka. Ta veličina je kratkovalno zračenje koje Zemlja dobiva od Sunca, a izražava se u W/m^2 . Kako se Zemlja oko Sunca giba po eliptičnoj putanji tako se i njihova međusobna udaljenost mijenja pa gustoća snage na ulazu u Zemljinu atmosferu nije konstanta već se mijenja od najmanje vrijednosti 1307 W/m^2 do najveće 1399 W/m^2 . Ekstraterestičko zračenje okomito na Sunčeve

zrake za srednju udaljenost Zemlje od Sunca naziva se Sunčeva (solarna) konstanta i iznosi 1367 W/m^2 .

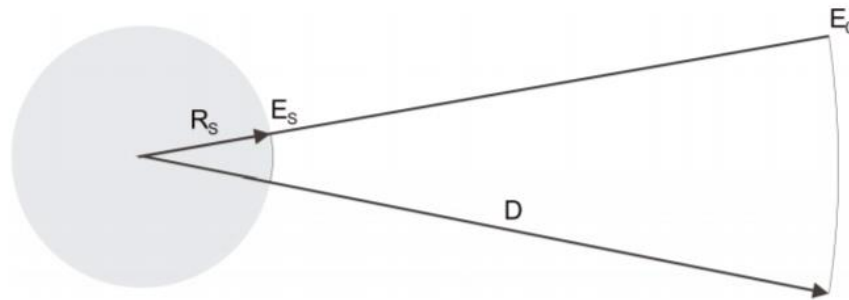


Slika 3. Solarna konstanta [13]

Prolaskom kroz zrakoprazan prostor, spektralna karakteristika zračenja se ne mijenja, ali se gustoća snage zračenja smanjuje s kvadratom udaljenosti od izvora zračenja prema izrazu:

$$E_0 = E_s \left(\frac{R_s}{D} \right)^2$$

Gdje je E_s gustoća snage na površini Sunca određena Stefan-Boltzmannovim zakonom za zračenje crnog tijela ($6,3 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$), R_s polumjer Sunca ($6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$), a D udaljenost mjesta na kojem računamo gustoću zračenja od Sunca. (Slika 4.).



Slika 4. Gustoća zračenja na udaljenosti D od izvora [3]

Prosječna mjesečna ili godišnja energija Sunčeva zračenja u nekom mjesecu dobiva se kao aritmetička sredina dnevnih energija za sve dane u promatranom mjesecu-godini. Ipak, pri prolasku kroz atmosferu dolazi do gubitka energije izravnog Sunčevog zračenja, ovisno o atmosferskim prilikama, zagađenosti atmosfere i nadmorskoj visini. Maksimalni dotok energije koja dopire do Zemljine površine iznosi u prosjeku dnevno 920 W/m^2 na plohu okomitu na smjer zračenja. Energija sunčevog zračenja zbog rotacije Zemlje raspoređuje se po površini, pa svega 230 W/m^2 dolazi do same površine. [9]

Osnovni principi direktnog iskorištavanja energije Sunca su:

- solarni kolektori – pripremanje tople vode i zagrijavanje kolektora
- fotonaponske ćelije – direktna pretvorba Sunčeve energije u električnu energiju
- fokusiranje sunčeve energije – pomoću sustava zrcala; stvaranje velike količine toplinske energije koja se kasnije u standardnim generatorima pretvara u električnu energiju (upotreba u velikim energetske postrojenjima)

2.2. Važnost sunčeve energije

Ugljen, nafta, plin te nuklearna goriva su ograničeni i iscrpljivi izvori energije, a energetske sektor većim je dijelom uzrok emisije sumporova dioksida (SO_2), dušikovih oksida (NO_x), te osobito stakleničkog plina ugljikova dioksida (CO_2) koji doprinosi globalnom zatopljenju i klimatskim promjena.

Upravo zbog toga energiju je potrebno dobivati iz novih izvora energije, kao što su sunčeva energija, energija vjetra, geotermalna energija, energija biomase i otpada, energija plime i oseke, energija morskih struja i morskih valova i sl., što je važno za gospodarski i energetske sustav svake zemlje. Potrebno je da ti novi izvori energije budu u skladu sa zaštitom okoliša i održivim razvojem bez emisije štetnih tvari. Solarna energija je motor za gotovo sve obnovljive izvore energije. Ona zapravo pokreće energiju vjetra, valova, hidroenergiju i biomasu dok geotermalna energija i energija plime i oseke mogu postojati i bez solarnog zračenja. Solarnu energiju možemo direktno konvertirati u toplinsku ili u električnu energiju, a to su zapravo najkorisniji oblici energije potrebni današnjem čovječanstvu.

Što se tiče pitanja dostupnosti solarne energije tijekom noći i oblačnih dana riješilo se sustavima za spremanje energije koji se pune kada je energija dostupna. Sprema se u različitim oblicima, ali najpopularniji su konverzija u toplinsku energiju, spremanje u baterijama i akumulatorima te „pumped storage“ sistemi tj. pumpanje vode na više mjesto kad postoji dovoljno energije i korištenje te vode kada solarna energija nije dostupna.

3. FIZIKALNE OSNOVE

3.1. Kristali

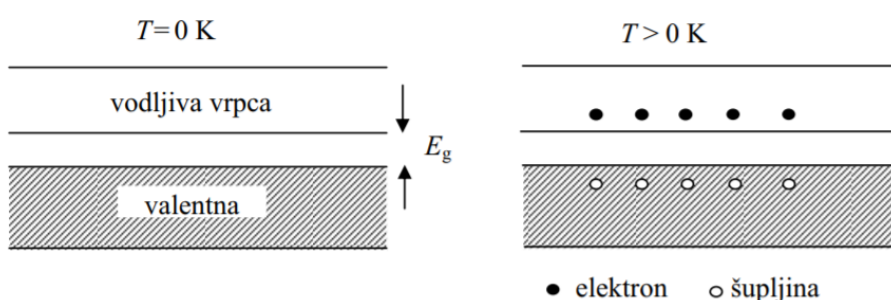
Kristali su čvrsta tijela koja su sastavljena od atoma, iona ili molekula koji su raspoređeni u kristalnu rešetku. Promjena strukture kristalne rešetke utječe na njegova mehanička, toplinska, elektromagnetska i druga svojstva. Monokristali, polikristali ili amorfne tvari su važni materijali za izradu fotonaponskih solarnih ćelija.

Monokristalna ćelija je ćelija čiji se cijeli obujam sastoji samo od jednog kristala, a ako se u procesu rasta kristala većih dimenzija formira više kristala dobivamo ćelije koje nazivamo polikristalnim ili multikristalnim ćelijama. Za razliku od kristala, amorfne tvari ne posjeduju pravilan raspored atoma. Nastaju hlađenjem rastaljenog materijala te se tako molekule ne stignu organizirati u stabilnija kristalna stanja. Površinski slojevi nekog materijala mogu postati amorfni na način da se kristalna rešetka tog materijala ošteti nekim vanjskim utjecajem tj. izbacivanjem atoma iz rešetke ubrzanim ionima pri niskoj temperaturi.

Većina solarnih ćelija izgrađena je od poluvodljivog materijala poput silicija. Poluvodiči poput silicija su materijali koji imaju električnu vodljivost manju od vodiča, a veću od izolatora.

3.2. Poluvodiči

S obzirom da su kristali od kojih su sastavljene solarne ploče većim dijelom poluvodiči, potrebno je poznavati njihova svojstva da bi se razumio rad solarne ćelije. Razlikujemo dvije vrste poluvodiča, čisti poluvodiči i poluvodiči s primjesama. Čisti poluvodiči se sastoje od atoma samo jednog elementa, bez ikakvih primjesa ili sadrže toliko malo primjesa da to ne utječe na njihove karakteristike. Atomi u kristalnoj rešetki poluvodiča povezani su kovalentnom vezom.



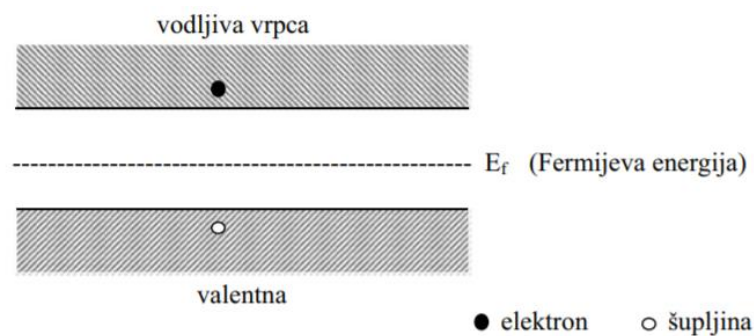
Slika 5. Energijski dijagram čistog poluvodiča [2]

Na slici 5. prikazan je energijski dijagram čistog poluvodiča. Na termodinamičkoj nuli valentna vrpca je popunjena elektronima, a vodljiva vrpca je prazna. Između njih se nalazi energijski procijep ili zabranjena vrpca poluvodiča širine E_g . Povećanjem temperature stvaraju se parovi elektron-šupljina s jednakim brojem elektrona u vodljivoj vrpci i šupljina u valentnoj vrpci. Ako se primijeni električno polje, elektroni će se gibati u suprotnim smjerovima. Ako dođe do susreta, elektron će popuniti kovalentnu vezu i pasti u valentni pojas. Taj se proces naziva rekombinacija. Kako je koncentracija šupljina jednaka koncentraciji elektrona, njihov je umnožak za određeni poluvodič konstantan i ovisi samo o temperaturi. Što je temperatura viša, povećat će se njihov broj i električna vodljivost.

Elektroni mogu prelaziti iz valentne u vodljivu vrpcu i ozračivanjem elektromagnetskim valovima (apsorpcija fotona) ili radioaktivnim zračenjem. [2]

3.3. Poluvodička dioda (PN-spoj)

Poluvodička dioda odnosno pn-spoj je sama solarna ćelija. Poluvodička dioda nastaje spajanjem p-tipa i n-tipa poluvodiča. Dodavanjem akceptora jednom dijelu kristalne rešetke čistog poluvodiča nastaje p-tip, a dodavanjem donora drugom dijelu kristalne rešetke nastaje n-tip poluvodiča. Poluvodič p-tipa predstavlja anodu, a poluvodič n-tipa katodu diode. Broj elektrona u vodljivoj vrpici jednak je broju šupljina u valentnoj vrpici, a ta dva dijela odijeljena su Fermijevom energetska razinom E_f što nam prikazuje slika 6.



Slika 6. Energijski dijagram za čisti poluvodič [2]

Bitno svojstvo poluvodičke diode je njeno ispravljačko djelovanje tj. propušta struju u jednom smjeru dok u drugome ne propušta. Ako se na pn-spoj priključi izvor vanjskog napona u propusnom smjeru, tako da je pozitivan pol na p-strani, a negativan na n-strani, potekne struja elektrona iz n-područja prema p-području i šupljina iz p-područja prema n-području.

Veza između vanjskog napona U i jakosti struje I_d kroz pn-spoj, tzv. strujno naponske karakteristika diode, može se prikazati jednačinom:

$$I_d = I_z (e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$$

gdje je:

I_d - struja diode (jakost struje kroz pn-spoj)

I_z - struja zasićenja

e - elementarni naboj, ($1,602176462 \cdot 10^{-19}$ C)

U - električni napon

k - Boltzmannova konstanta, ($1,3806 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T - termodinamička temperatura [2]

3.4. Fotonaponski efekt

Fotonaponski efekt je fizikalna pojava kod koje se generira napon ili istosmjerna električna struja u poluvodičkom materijalu nakon izlaganja svjetlosti. Godine 1839. Edmond Becquerel otkriva fotonaponski efekt. On je u svojem eksperimentu kojega je radio u laboratoriju svojega oca, dvije ploče platine ili zlata uronio u kiselinu, neutralnu ili lužnatu otopinu te izložio svjetlu. Kada je spojio elektrode platine generirao je napon i struju. U to doba njegovo otkriće nije pobudilo veliki interes pa je tek 1883. godine njemački izumitelj Charles Fritss načinio prvu solarnu ćeliju.

Fotonaponski efekt izravno je vezan uz fotoelektrični efekt, no ta dva procesa su različita i potrebno ih je razlikovati. Kod fotoelektričnog efekta, nakon izlaganja dovoljnoj količini sunčevog zračenja elektroni se oslobađaju sa površine metala. Kod fotonaponskog efekta između molekula različitih spojeva materijala oslobađaju se elektroni čime se rezultira povećanje napona između dvije elektrode.

4. SOLARNE ĆELIJE

4.1. Povijest razvoja solarnih ćelija

Razvoj fotonaponskih ćelija počinje 1839. istraživanjem francuskog fizičara Edmonda Becquerela. On je primjenio fotonaponski efekt. Na osnovi tog fotonaponskog efekta zasniva se rad solarnih ćelija.

Nedugo nakon Becquerelovog otkrića 1883. godine izrađena je prva solarna ćelija. Izradio ju je Charles Fritts, od selena kao poluvodiča s vrlo tankim slojem zlata. Ove rane ćelije imale su učinkovitost pretvorbe energije manju od 1%.

Prvu solarnu silicijevu ćeliju otkrio je Russell Ohl 1941. godine, a trinaest godina kasnije tri američka istraživača, Pearson, Fuller i Chapin demonstrirala su silicijsku solarnu ćeliju s djelotvornošću od 6% učinkovitosti pri pretvorbi energije iz direktnih sunčevih zraka.

Međutim, kako je proizvodna cijena solarnih ćelija bila vrlo visoka one su se koristile isključivo za opskrbu električnom energijom satelita koji kruže u Zemljinoj orbiti. Prvi satelit s panelima bio je Vanguard 1 koji je lansiran u svemir 17. ožujka 1958. godine i još kruži oko Zemlje. Prvi plan je bio da satelit bude napajan samo baterijama, ali kako bi produžili vijek trajanja misije na trup su dodali solarne panele ćelija. Ubrzo su ćelije pronašle veliku primjenu u svemirskim istraživanjima na satelitima (slika 7).



Slika 7. Svemirski satelit opskrbljen solarnim ćelijama [2]

Nakon naftne krize 1970-tih godina kada su naftne kompanije otkrile da će nafta biti preskupa u budućnosti, počelo se ulagati u solarne fotonaponske tehnologije kako bi se snizila cijena. Solarne ćelije prepoznate su kao odlična zamjena za opskrbu električnom energijom na lokacijama udaljenim od električne mreže. Počinju se napajati bežične aplikacije, telekomunikacijska oprema, potrošačka elektronika kao što su kalkulatori, satovi, radio uređaji, lampe i ostale aplikacije s malim baterijama. Vodeći svjetski energetičari, a i najveće naftne tvrtke, procijenili su da će u 21. stoljeću dominirati fotonaponska tehnologija u zadovoljavanju potreba za električnom energijom. Otvaraju se nova tržišta za fotonaponske sustave u građevinarstvu gdje fotonaponski sustavi mogu nadomjestiti krovove i fasade te poboljšati toplinsku izolaciju stvarajući pri tome električnu energiju.

Razvijani su samostalni sustavi ćelija te sustavi spojeni na mrežu.

Danas industrija fotonaponskih ćelija i ostale opreme raste po stopi od 40% godišnje, a snaga instaliranih kapaciteta već u 2010. godini dosegla je ogromnu brojku od 17,5 GW.

4.2. Princip rada solarne ćelije

Fotonaponska ćelija je elektronički elementi koji pretvara upadnu sunčevu energiju u električnu na principu fotonaponskog efekta. Po strukturi ona je zapravo pn-spoj.

Osvjetljavanjem solarne ćelije, ona apsorbira sunčevo zračenje i dolazi do fotonaponskog efekta zbog kojega se na krajevima ćelije pojavljuje elektromotorna sila (napon) i ako se stavi trošilo na izlazu ćelije poteći će struja i dobit ćemo električnu energiju.

Pri praćenju emisije i apsorpcije sunčeva zračenja, zračenje se promatra kao snop čestica, a čestice se nazivaju fotoni. To su čestice bez mase i gibaju se brzinom svjetlosti.

Potrebno je poznavati tok fotona koji upadaju u ćeliju kako bi se mogao izraditi proračun fotostruje solarne ćelije.

Energija fotona izračunava se po Einsteinovoj jednadžbi:

$$E = h\nu = h \frac{c_0}{\lambda}$$

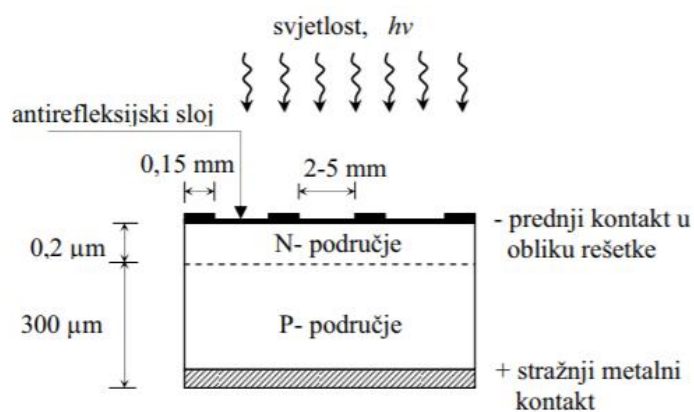
gdje je:

h - Planckova konstanta ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)

ν - frekvencija fotona (1/s)

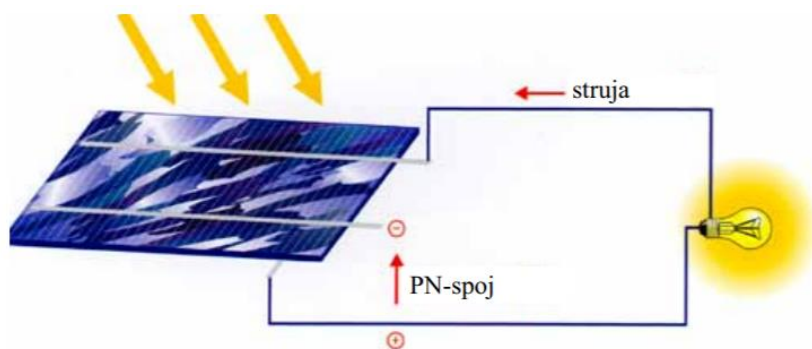
c_0 - brzina svjetlosti koja iznosi $3 \cdot 10^8$ m/s

Na slici 8. je prikaz apsorpcije sunčevog zračenja jedne solarne ćelije. Na prednjoj površini pločice p-tipa difundirane primjese (npr. fosfor) nastane područje n-tipa poluvodiča. Na gornjoj strani se nalazi metalna rešetka koja ne pokriva više od 5% površine, a na donjoj strani ćelije nalazi se metalni kontakt. Da bi se povećala učinkovitost ćelije, površina se premazuje antirefleksijskim slojem koji smanjuje refleksiju sunčeve svjetlosti.



Slika 8. Silicijeva solarna ćelija [2]

Svjetlom obasjana solarna ćelija apsorbira fotone koji stvaraju parove elektron-šupljina. Neki fotoni se reflektiraju ili jednostavno samo prođu kroz ćeliju. Ti nastali parovi elektron-šupljina se odvajaju u osiromašenom području pn-spoja i nastaju elektroni i šupljine. Elektroni se gibaju prema n-području, a šupljine prema p-području. Do pojave elektromotorne sile na krajevima solarne ćelije dolazi zbog skupljanja elektrona i šupljina na odgovarajućim suprotnim stranama pn-spoja (slika 9.)

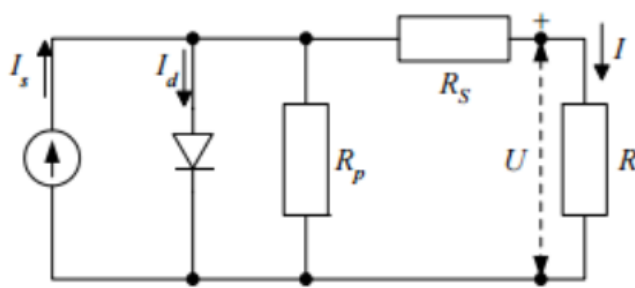


Slika 9. Solarna ćelija kao izvor električne struje [2]

Između metalne rešetke na gornjoj strani i metalnog kontakta na donjoj strani pločice spaja se trošilo, pomoću kojega dolazi do stvaranja elektromotorne sile prilikom apsorpcije sunčeve svjetlosti. Budući da solarna ćelija ima ispravljačko svojstvo, jer radi kao poluvodička dioda, propušta struju samo u jednom smjeru. U tom slučaju ćelije proizvode istosmjerni napon od 0,5 V do 0,7 V i gustoća struje je nekoliko desetaka mA/cm^2 . Ako želimo povećati napon tada ćelije spajamo u seriju (struja ostaje ista), a ako želimo veću jakost struje tada ih spajamo u paralelu (napon ostaje nepromijenjen).

U idealnom slučaju, solarna ćelija je električni krug sa strujnim izvorom i paralelno spojenom diodom, dok u realnom slučaju spajaju se još dva otpornika, jedan u seriju i drugi u paralelu.

Električni model realnih panela solarnih ćelija prikazan je na slici 10.



Slika 10. Električna shema fotonaponske ćelije [8]

Kada fotonaponska ćelija nije osvijetljena kroz nju protječe struja I_D koja je dana jednadžbom:

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right) \quad (1)$$

gdje je:

I_D – struja diode,

I_0 – struja zasićenja,

q – naboj elektrona

m – parametar fotonaponske ćelije ($m = 1$),

k – Boltzmanova konstanta ($k = 1,3806 \cdot 10^{-23} J/K$),

T – apsolutna temperatura izražena u kelvinima

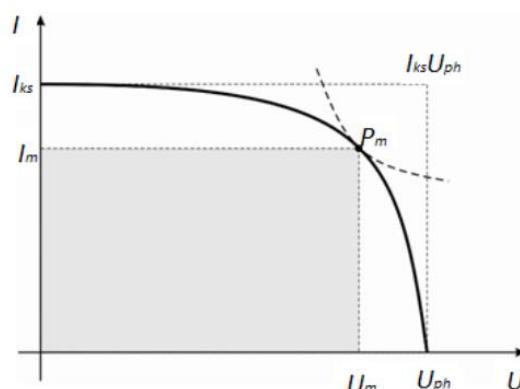
Osvjetljenjem fotonaponske ćelije stvaraju se parovi nosilaca naboja koje razdvaja električno polje u osiromašenom području. Kao posljedica toga nastaje fotostruja I_s pa se sama fotonaponska ćelija koja je osvijetljena ponaša kao strujni izvor. Ako je spojeno trošilo R u izlaznom krugu, struja fotonaponske ćelije kroz trošilo dok je osvijetljena je:

$$I = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right) - I_s \quad (2)$$

Jednadžbu možemo zapisati i kao:

$$I = I_s - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{m k T}} - 1 \right) \quad (3)$$

Osnovni parametri te U - I karakteristika fotonaponske ćelije prikazani su na slici 11.



Slika 11. Strujno naponska karakteristika fotonaponske ćelije [8]

Karakteristični parametri fotonaponske ćelije su :

I_{ks} – struja kratkog spoja (struja koja teče kada je napon na stezaljkama fotonaponske ćelije jednak nuli).

U_{ph} - napon praznog hoda (napon koji postoji na stezaljkama fotonaponske ćelije u režimu praznog hoda, tj. kada je $I = 0$)

P_m – točka maksimalne snage (točka u kojoj fotonaponska ćelija daje najveću moguću snagu)

Maksimalna snaga P_m odgovara najvećoj mogućoj površini pravokutnika koji se može upisati u U - I karakteristiku. U točki maksimalne snage vrijednost struje je I_m , a napon je U_m .

Struju kratkog spoja možemo izračunati uz uvjet da je $U = 0$ uvrštavanjem u jednadžbu (3) te dobivamo:

$$I_{ks} = I_s$$

Napon praznog hoda dobivamo uvrštavanjem uvjeta $I = 0$ te dobivamo:

$$U_{ph} = \frac{mkT}{q} \ln \left(\frac{I_s}{I_0} + 1 \right) \quad (4)$$

Vidimo da napon praznog hoda ovisi o iznosu struje I_s i o struji zasićenja diode I_0 .

Karakterističan otpor R_k je omjer praznog hoda i struje kratkog spoja:

$$R_k = \frac{U_{ph}}{I_{ks}} \quad (5)$$

Snagu koju daje fotonaponska ćelija jednaka je:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left[I_s - I_0 \cdot \left(e^{\frac{qU}{mkT}} - 1 \right) - \frac{U}{R_p} \right] \quad (6)$$

Maksimalna snaga fotonaponske ćelije je:

$$P_m = U_m \cdot I_m = U_{ph} \cdot I_{ks} \cdot FF \quad (7)$$

gdje je FF – faktor punjenja (eng. Fill Factor), a on je omjer površine pravokutnika čije su stranice U_m i I_m i pravokutnika sa stranicama U_{ph} i I_{ks} . Njegova vrijednost govori o tome koliko se stvarna ćelija približava idealnoj, tj. koliki je utjecaj serijskog i paralelnog otpora same ćelije. Vrijednost faktora punjenja je uobičajeno oko 0,7 i 0,9 i opada linearno s omjerom

$$\frac{R_s}{R_k} \text{ i } \frac{R_k}{R_p}$$

Korisnost fotonaponske ćelije η definira se kao omjer između maksimalne snage koju ćelija može dati P_m i snage sunčeva zračenja koje upada na ćeliju P_u :

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} = \frac{P_m}{E \cdot A} = \frac{U_m \cdot I_m}{E \cdot A} \quad (8)$$

gdje je:

E – ozračenje površine,

A – površina fotonaponske ćelije

Ako u taj izraz uvrstimo izraz za maksimalnu snagu, dobivamo:

$$\eta = FF \cdot \frac{U_{ph} I_{ks}}{E \cdot A} \quad (9)$$

Korisnost fotonaponske ćelije je veća što je faktor punjenja bliži jedinici i ako je veći iznos struje kratkog spoja. Najveća učinkovitost fotonaponske ćelije je kada ćelija radi u točki maksimalne snage odnosno ako se pri određenom ozračenju i temperaturi na fotonaponsku ćeliju spoji optimalni iznos trošila. Korisnost se kreće od nekoliko postotaka do svega 40%, a ostala energija pretvara se u toplinsku i na taj način grije ćeliju. Porast temperature solarne ćelije utječe na smanjenje korisnosti fotonaponske ćelije.

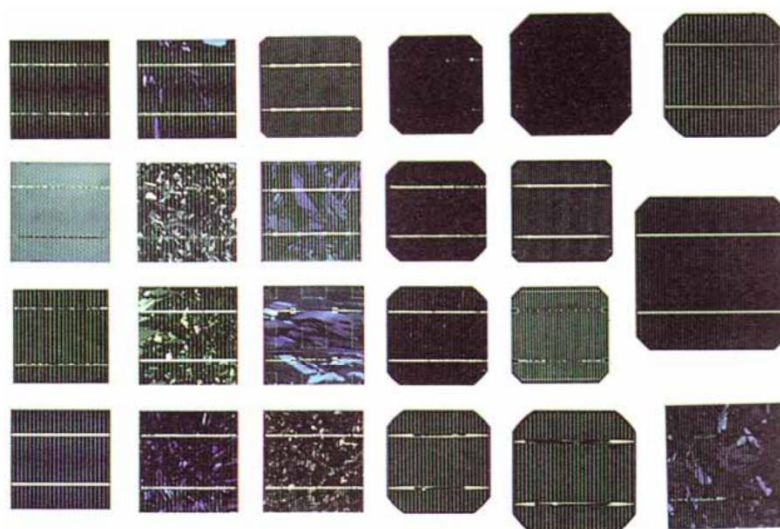
4.3. Izrada solarnih ćelija

Osnovni tipovi materijala za izradu fotonaponskih solarnih ćelija su kristalni silicij, kao što su monokristalni i polikristalni silicij te materijali izrađeni u tankoslojnoj tehnologiji poput tankoslojnog silicija korištenjem amorfne tvari.

Silicij je jedan od najčešćih elemenata u zemljinoj kori, a dobiva se iz pijeska te je dostupan i neograničen sirovi materijal.

Tehnologija proizvodnje je uglavnom proizvodnja monokristalnog silicija koji daje veću učinkovitost ćelija, ali je proizvodnja znatno skuplja. Jedan od nedostataka je njegovo poluvodičko svojstvo, zbog čega je potrebno razmjerno velika debljina aktivnog sloja kako bi se u najvećoj mogućoj mjeri iskoristila energija sunčeva zračenja.

Većina solarnih ćelija se izrađuje od polikristalnog silicija tiskanog na zaslonu koji se na tržištu može naći u različitim bojama i dimenzijama (Slika 12.)



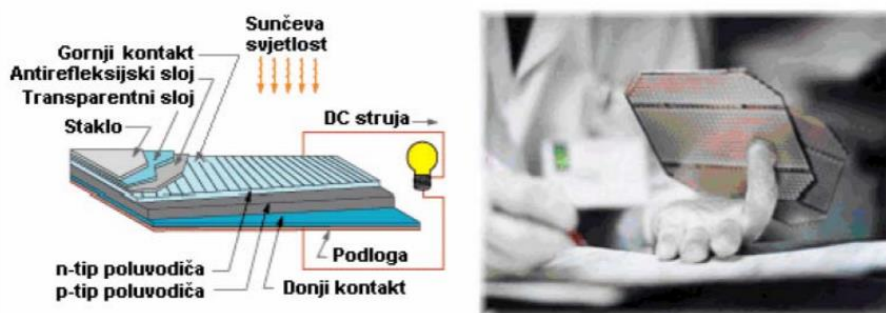
Slika 12. Kristalne ćelije različitih boja i dimenzija [2]

Postoje tri generacije u koje su podijeljeni paneli solarnih ćelija. Prva generacija je relativno jeftina za proizvodnju i ima nisku učinkovitost. Druga generacija ima još manju učinkovitost ali je jeftinija za proizvodnju, a treća generacija koristi novu tehnologiju, tanki film. Zbog nove tehnologije paneli imaju visoku učinkovitost i nisku cijenu u usporedbi s ostalim solarnim tehnologijama.

Kristalni silicij se uglavnom dobiva tako što se u rastaljeni silicij visoke čistoće ubacuje kristalna jezgra. Na jezgri se kristalizira silicij, rotiranjem jezgre i polaganim izvlačenjem proizvode se šipke koje se kasnije režu u tanke pločice od nekoliko nanometara do desetak mikrometara.

Dobivene pločice se slažu u iznimno tanke slojeve na podlogu koja se može sastojati od stakla, nehrđajućeg čelika ili plastike.

Izgled solarne ćelije tankog filma prikazan je na slici 13.



Slika 13. Solarne ćelija tankog filma [14]

Pločice su slabo dopirani poluvodiči p-tipa te se iz pločice za dobivanje solarne ćelije, s prednje strane pločice, izvodi površinska difuzija dopanada n-tipa i time se stvara pn-spoj.

U idućem koraku se aplicira antirefleksijska prevlaka koja služi za povećanje količine iskorištene svjetlosti u ćeliji. Najčešće korišteni materijal za antirefleksijsku prevlaku je silicij nitrid, jer sprječava rekombinaciju nosilaca naboja na površini solarne ćelije.

Nakon apliciranja po cijeloj stražnjoj površini pločice dodaje se obični metalni kontakt. Stražnji kontakt se dodaje tiskanjem metalne paste na zaslon, obično aluminijske.

Pasta se grije do nekoliko stotina stupnjeva celzijusa, sve dok ne formira metalne elektrode u omskom kontaktu sa silicijem. Nakon izrade metalnog kontakta, solarne ćelije se međusobno spajaju u seriju ili paralelu i stavljaju se u module ili solarne panele.

Na slici 14. prikazani su važniji postupci u proizvodnji, montaže te primjena solarnih ćelija.



Slika 14. Postupak proizvodnje ćelija i solarnih panela [2]

Proizvodnja solarnih ćelija pokazala je veliku zabrinutost zbog mogućeg negativnog utjecaja na okoliš zbog toga što proces izrade nekih fotonaponskih ćelija zahtijeva otrovne metale poput žive, olova i kadmija te rezultira stvaranjem ugljikova dioksida koji je staklenički plin. No studije su pokazale da postupak proizvodnje ćelija proizvodi mnogo manje onečišćenja zraka od tradicionalnih tehnologija s fosilnim gorivima te je manja emisija štetnih plinova.

Sama izrada solarnih ćelija je dosta skup i složen proces, no posljednjih godina poboljšavaju im se karakteristike i cijena polako pada. Potrebno je što više pojednostaviti izradu samih ćelija te koristiti druge i jeftinije materijale.

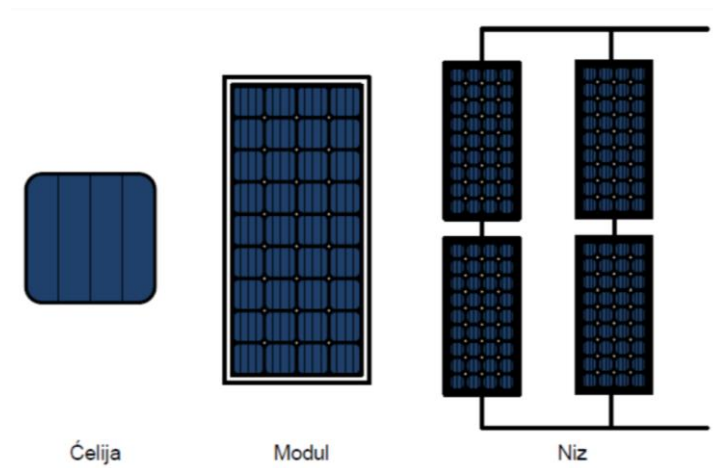
U današnje vrijeme usavršile su se solarne ćelije koje nazivamo koncentrirajuće solarne ćelije. Ugradnjom na fotonaponske sustave prate kretanje Sunca, a stupanj djelovanja tih ćelija je oko 35% dok je modula oko 25%.

4.4. Fotonaponski moduli

Fotonaponski modul se sastoji od više spojenih ćelija koji su postavljeni u kućište otporno na vremenske prilike. Jedna ćelija daje napon od oko 0,5 V, a fotonaponski modul se većinom sastoji od 36 ćelija te ima izlazni napon od 12 V. Dalje se više fotonaponskih modula spaja u seriju ili paralelu da bi se dobio veći napon, odnosno veća struja, te da čine fotonaponski niz kao što je prikazano na slici 15.

Ako se spoje paralelno to rezultira većom strujom, a ako su ćelije u modulima spojene serijski povećava se iznos napona. Moduli se zatim mogu spajati serijski ili paralelno ili oboje da se stvori polje sa željenim vrijednostima istosmjernog napona i struje.

Kada se poveže više solarnih modula ili panela dobije se polje fotonaponskih ploča koji je dio solarne fotonaponske elektrane.



Slika 15. Od ćelija do fotonaponskog modula [8]

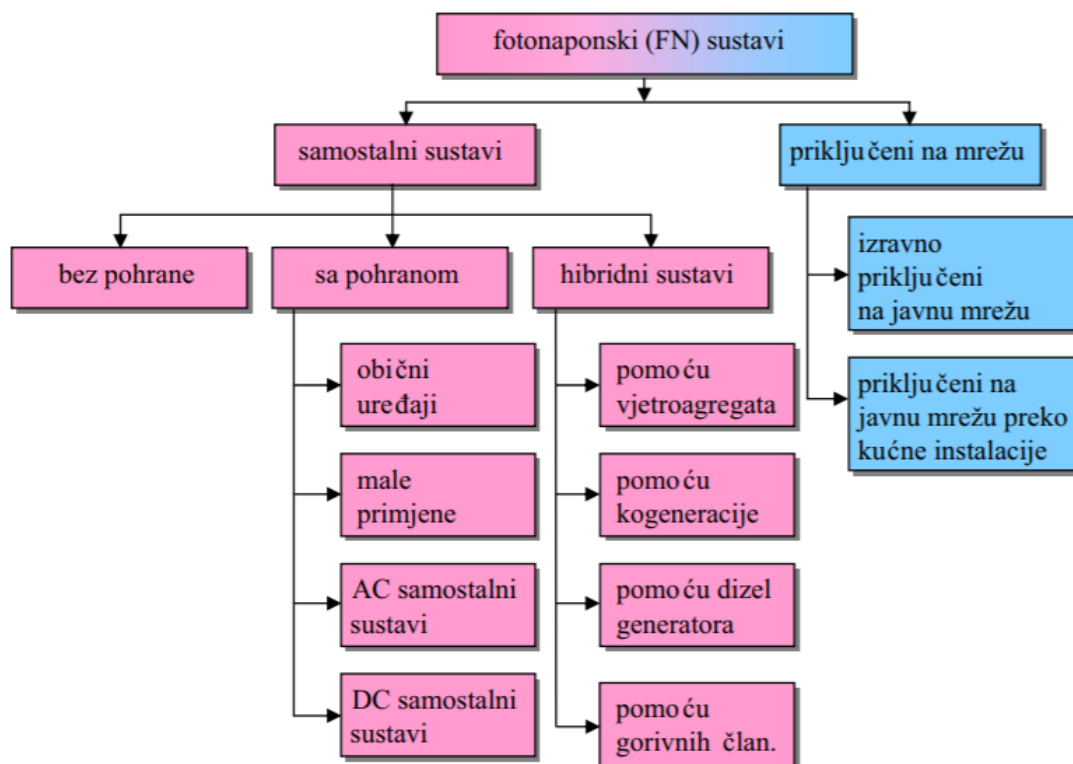
Energija Sunčevog zračenja koja dospije na Zemlju deset tisuća puta je veća od energije koja je potrebna da zadovolji potrebe čovječanstva, u razdoblju od jedne godine. Jedan od podataka još iz 2001. godine pokazao je da kada bi se promatralo da na jednom kvadratnom metru dospije 100 kWh godišnje, bilo bi potrebno prekriti površinu od 150 x 150 km² da bi se dobila energija jednaka potrošnji za godinu dana.

5. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Solarni sustav možemo drugim riječima nazvati solarna elektrana. Pod fotonaponske sustave podrazumijevaju se svi uređaji, oprema i jedinice koje čine fotonaponsku instalaciju. Cilj solarnog sustava je osigurati rad istosmjernim i izmjeničnim trošilima sa ili bez nekog drugog alternativnog izvora električne energije. Solarni sustav bez pretvarača napaja samo istosmjerna trošila, a ako se na njega spoji pretvarač tada se mogu napajati i izmjenična trošila. Ovisno o načinu rada mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine:

- fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu tzv. samostalni sustavi (eng. off-grid)
- fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (eng. on-grid).

Kod samostalnih sustava, proizvedena električna energija se mora skladištiti na licu mjesta te se skladišti u baterije ili akumulatore. U mrežnim sustavima nema potrebe za baterijama ili akumulatorima jer se električna energija predaje elektroenergetskom sustavu.



Slika 16. Podjela fotonaponskih sustava [2]

Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu mogu biti sa pohranom ili bez pohrane, što ovisi o vrsti primjene i načinu potrošnje energije, te mogu biti hibridni sustavi koji mogu biti s vjetroagregatom, kogeneracijom, dizelskim generatorom ili gorivnim člancima.

Fotonaponski sustavi koji su priključeni na mrežu mogu biti priključeni izravno na javnu elektroenergetsku mrežu ili su priključeni na mrežu preko kućne instalacije.

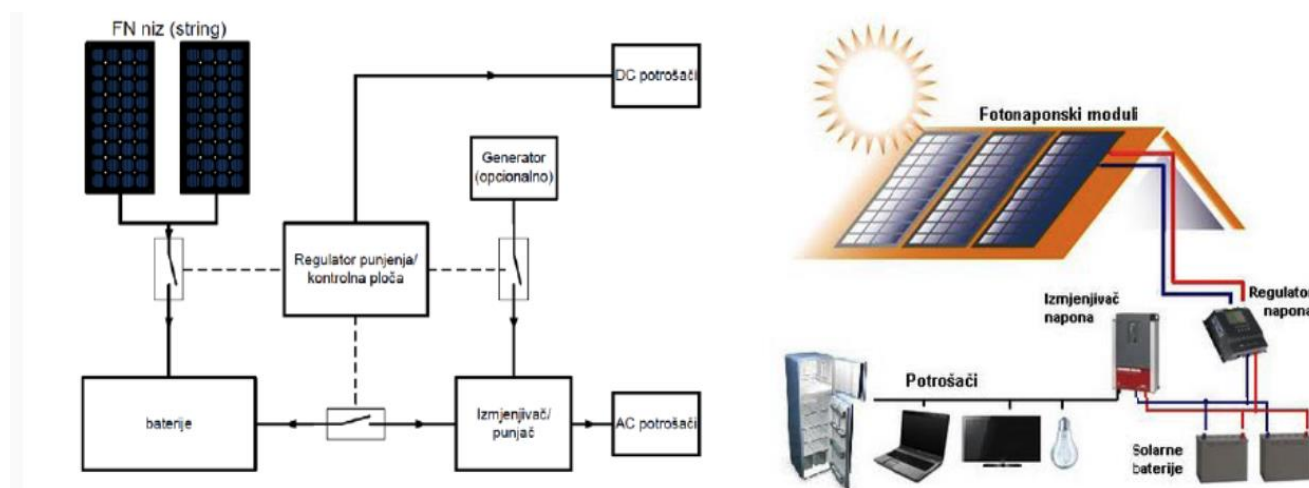
5.1. Samostalni ili otočni fotonaponski sustavi

Samostalni ili ih još nazivamo i otočni fotonaponski sustavi za svoj rad nemaju potrebu spajanja na električnu mrežu. Takvi su sustavi pogodni za osiguranje potrebne količine energije za udaljene potrošače kao što su to ruralna ili primorska naselja, te za pojedinačne objekte kao što su to rasvjete, razne vrste signalizacije i upozorenja, sustave nadgledanja itd.

Kod takvih sustava nužno je imati akumulator (bateriju) koji služi kao spremnik električne energije. Također je potrebno dodati regulator za kontrolirano punjenje i pražnjenje baterije, a dodavanjem izmjenjivača takvom samostalnom sustavu mogu se zadovoljiti mrežni potrošači kojima je potreban izmjenični napon kao što su perilice, hladnjaci, televizori, računala, usisavači, mali kućni aparati i druga trošila.

Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava su (slika 17.):

- fotonaponski moduli
- regulator punjenja
- akumulator
- trošila
- izmjenjivač



Slika 17. Samostalni fotonaponski sustav [8]

Pretvorba svjetlosne energije u električnu odvija se u solarnoj ćeliji, dok se u akumulatoru obavlja reverzibilni (povratni) elektrokemijski proces pretvorbe koji je povezan sa punjenjem i pražnjenjem akumulatora. U trošilima se električna energija pretvara u mehaničku, toplinsku, svjetlosnu ili neku drugu energiju, a definirani su snagom, naponom i strujom.

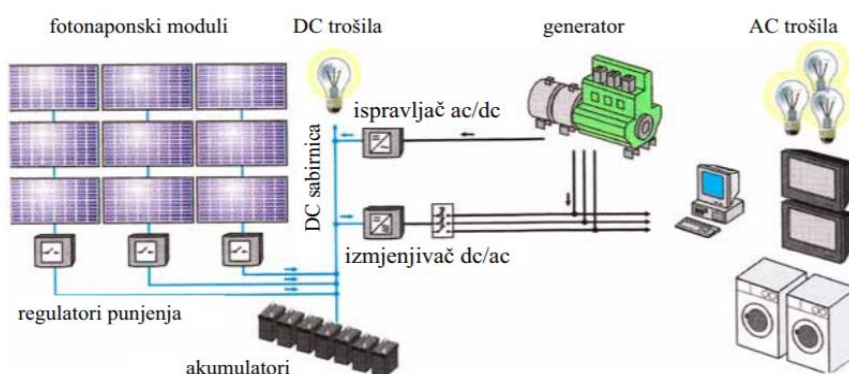
Prednost ovakvih sustava je ta što je moguće skladištenje električne energije u akumulatoru koju možemo koristiti bilo kada. Povećava se sigurnost, nema troškova i energetske ovisnosti.

Nedostatak je promjena godišnjih doba, kojega možemo nadoknaditi povećanjem skladištenja energije. Ovim sustavima motivirani smo na uštedu energije i prilagođavanju svakom dobu dana.

5.2. Hibridni fotonaponski sustavi

Hibridni fotonaponski sustavi nastaju povezivanjem samostalnih sustava s nekim drugim alternativnim (pričuvnim) izvorima električne energije, kao što su to vjetroturbine, hidrogeneratori, pomoćni dizelski ili plinski agregati. Vjetroturbine i fotonaponski sustavi se mogu povezati pomoću zajedničkog izmjenjivača. To daje veću sigurnost i raspoloživost električne energije te se time omogućava manji kapacitet akumulatora kao samog spremnika električne energije.

Proizvedenom električnom energijom pomoću solarnih modula ili vjetroagregatom napajaju se prvo trošila, a višak energije se pohranjuje u akumulatoru. Ako ne bi postojao uvjet za proizvodnju električne energije pomoću solarnih modula ili vjetroagregata, akumulator postaje izvor za napajanje istosmjernih ili izmjeničnih trošila, a u slučaju da to ne može biti niti akumulator uključuje se generator na dizel ili biodizel gorivo.

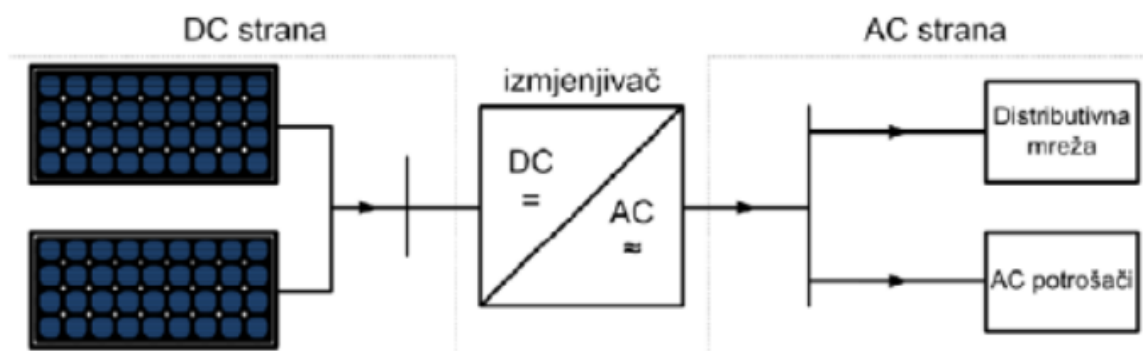


Slika 18. Hibridni fotonaponski sustav [2]

5.3. Mrežni sustavi

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu ili mrežni fotonaponski sustavi su oni u kojima se proizvedena električna energija koristi za pokrivanje potreba objekta na kojem se sustav nalazi (kuće, zgrade, itd.). Mogu biti izravno priključeni ili priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije. Takvi sustavi ne trebaju imati baterije i akumulatore jer javna elektroenergetska mreže ima ulogu spremnika električne energije.

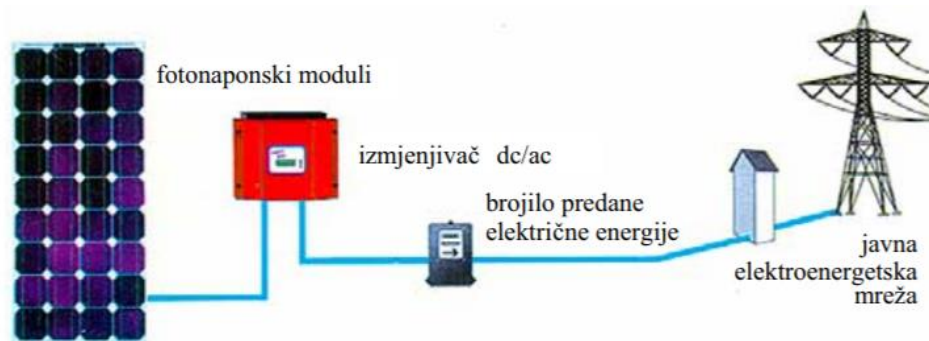
Mrežni sustavi moraju biti opremljeni izmjenjivačem koji pretvara istosmjernu struju generatora u izmjeničnu, sinkroniziranu s naponom i frekvencijom mreže. Ako je proizvodnja električne energije u generatoru veća od potrebe objekta, višak se dostavlja u mrežu, a kada je proizvodnja električne energije nedovoljna energija se uzima iz mreže.



Slika 19. Fotonaponski sustav spojen na mrežu [8]

5.3.1. Mrežni sustavi izravno priključeni na javnu mrežu

Mrežni sustavi koji su izravno priključeni na javnu mrežu spajaju se tako da se fotonaponski sustav nakon izmjenjivača i mjernog brojila direktno spaja na javnu mrežu (slika 20.). Takvi sustavi zahtijevaju veću snagu i uglavnom se instaliraju na velikim površinama od 30 do 40 m² za 1 kW snage.



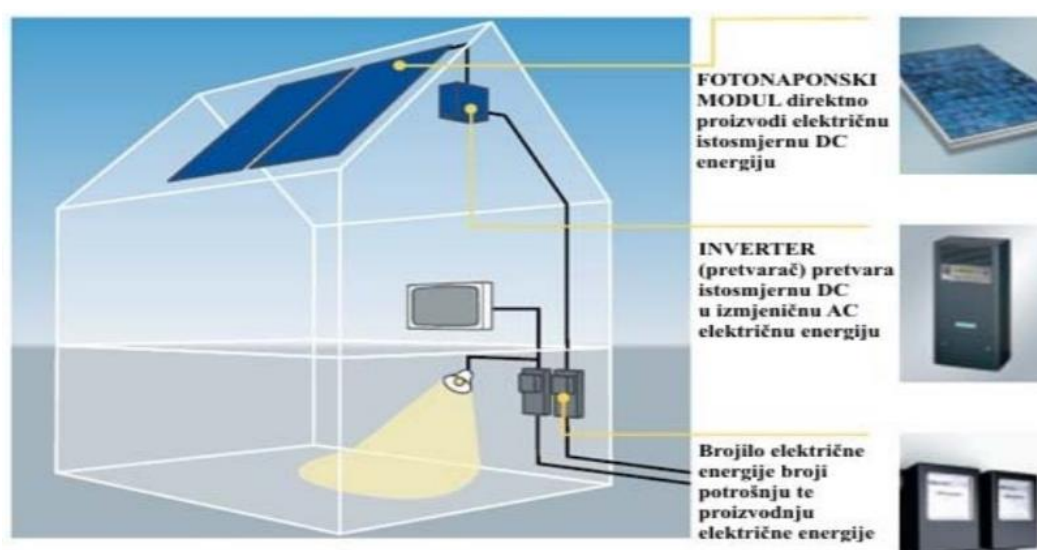
Slika 20. Fotonaponski sustavi izravno priključeni na javnu mrežu [2]

Osnovni dijelovi takvog fotonaponskog sustava su:

- fotonaponski moduli
- fotonaponski izmjenjivač
- montažna podkonstrukcija
- brojilo predane i preuzete električne energije

Fotonaponski moduli služe za pretvaranje svjetlosne energije u električnu istosmjernog oblika, dok fotonaponski izmjenjivač prilagođava oblik proizvedene energije u oblik koji se može predati u javnu elektroenergetsku mrežu. Mrežni izmjenjivači proizvode izmjeničnu struju te osiguravaju da napon koji isporuče bude u fazi s mrežnim naponom.

Brojilo električne energije registrira proizvedenu energiju predanu u mrežu i potrošenu energiju koja je preuzeta iz mreže.

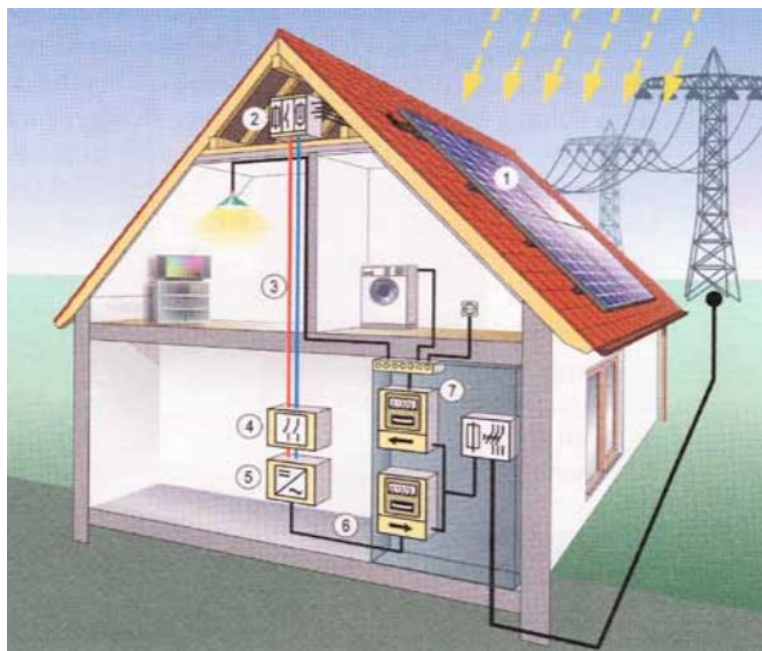


Slika 21. Elementi mrežnog fotonaponskog sustava [14]

5.3.2. Mrežni sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije što omogućuje povezivanje distribuiranih sustava na niskonaponsku razinu elektroenergetskog sustava.

Glavne komponente fotonaponskog sustava priključenog na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije prikazane su na slici 22.



Slika 22. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [2]

Komponente sačinjavaju:

1. fotonaponski moduli
2. spojna kutija sa zaštitnom opremom
3. kablovi istosmjernog razvoda
4. glavna sklopka za odvajanje
5. izmjenjivač
6. kablovi izmjeničnog razvoda
7. brojila predane i preuzete električne energije

Ovo je jedan od najpopularnijih tipova fotonaponskih sustava koji se koriste za kućne i poslovne instalacije u razvijenim područjima. Višak proizvedene električne energije dopušta prodaju lokalnom distributeru jer je fotonaponski sustav preko kućne instalacije u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom. Također, vrijedi i suprotno gdje se električna energija za potrebe kuće uzima iz mreže kada nema dovoljno svjetlosne energije.

Rezultat je da korisnik može prodati električnu energiju distributeru preko brojila električne energije u mrežu ili može koristiti električnu energiju preko solarnih fotonaponskih modula.

5.3.3. Mrežno spojene sunčeve elektrane

Mrežno spojene sunčeve elektrane proizvode velike količine električne energije putem fotonaponskih instalacija koje se nalaze na jednom mjestu. Ovakve instalacije mogu se nalaziti na velikim neplodnim zemljama te na velikim farmama čija se snaga kreće u rasponu od nekoliko stotina kilovata do nekoliko stotina megavata.

Jedan takav primjer velike solarne elektrane ili farme nalazi se u Njemačkoj koja je priključena na elektroenergetsku mrežu i svu proizvedenu energiju predaje u elektroenergetski sustav. Snaga generatora doseže 40 MW, tehnologija je tanki film, površina približno odgovara površini od 200 nogometnih stadiona, očekivana godišnja proizvodnja 40 milijuna kWh električne energije, ušteda 25000 tona ugljikova dioksida, te cijena oko 130 milijuna eura. [14]

U Hrvatskoj je sklopljen sporazum na otoku Cresu o izgradnji najveće i prve neintegrirane sunčane elektrane. Hrvatska elektroprivreda od 2014. godine u sustavu ima devet sunčanih elektrana koje su integrirane u građevine tj. koje su postavljene na krovove svojih zgrada i nalaze se u Zagrebu, Osijeku, Splitu, Zadru, Dubrovniku, Šibeniku, Čakovcu i Opatiji, a trenutno su najveće snage 1 MW. [30]

6. Fotonaponska elektrana

Postoje dva načina pretvorbe energije Sunca u električnu energiju kao što su to direktna i indirektna pretvorba. Direktnom pretvorbom se solarna energija pretvara u električnu putem fotonaponskih ćelija tj. same fotonaponske elektrane, a kod indirektna pretvorbe se koriste zrcala kako bi se stvorila koncentrirana toplinska solarna energija koja se dalje pretvara u električnu energiju putem klasičnog sustava s parnim turbinama.

Fotonaponske elektrane nam služe za masovnu proizvodnju električne energije koju putem električne mreže, prenose i distribuiraju do svakog potrošača.

Za razliku od samostalnog ili otočnog sustava u kojima se proizvedena električna energija najčešće skladišti u baterije ili akumulatore, fotonaponska elektrana ili sunčeva fotonaponska elektrana je fotonaponski sustav koji je priključen na mrežu tj. svu proizvedenu električnu energiju predaje u elektroenergetski sustav. One predstavljaju jedan od najelegantnijih načina korištenja energije Sunca, a njihov rad se zasniva na fotonaponskom efektu.

Najveća proizvodnja energije ostvaruje se ugradnjom modula na tlu koje treba podignuti i do jednog metra kako ih trava ili snijeg ne bi zasjenjivali, te ugradnjom u krovove zgrada.

Položaji solarnih panela orijentiraju se gdje je količina Sunčevog zračenja najveća moguća.

Potencijal iskorištenja elektrane na području Hrvatske se kreće od 970 do 1380 kWh po kvadratnom metru površine solarnog kolektora postavljenog pod optimalnim godišnjim kutom. [15]

Prema tome solarne elektrane se uglavnom postavljaju na dva načina od kojih je jedan da se solarni panel postavlja fiksno, a drugi sa sustavom za praćenje položaja Sunca.

Solarne elektrane s fiksno postavljenim solarnim panelima su one koje nemaju mogućnost praćenja položaja Sunca, a najčešće su to sistemi koji su fiksirani na krovove kuća i zgrada. Za fiksno postavljeni sustav određuje se vrijednost optimalnog kuta nagnute plohe. Optimalni kut nagnute plohe je kut pod kojim je potrebno postaviti modul u odnosu na vodoravnu površinu da bi se dobila najveća moguća godišnja ozračenost. U našim krajevima kod solarnih elektrana s fiksno postavljenim solarnim panelima važno je da su paneli postavljeni prema jugu i pod optimalnim nagibom oko 30°. Takva je orijentacija pogodna za ljeto, jer tada Sunčeve zrake padaju okomito na solarne panele.

U novije vrijeme usavršile su se ćelije koje se ugrađuju u fotonaponske sustave koji prate kretanje Sunca. Sustavi za praćenje položaja Sunca koriste se kako bi se smanjio kut upadanja između nadolazeće zrake svjetlosti i samog fotonaponskog panela, tako se količina energije iz fiksne instalirane snage pogonskih uređaja povećava. Sustavi sa praćenjem Sunca mogu proizvesti i trećinu energije više u odnosu na fiksne, no mana im je viša cijena, veći prostor, te su osjetljivi na vjetar.

6.1. Fotonaponska elektrana u Orahovici

Fotonaponska elektrana u gradu Orahovici nalazi se na području Virovitičko-podravske županije koja je priključena na infrastrukturu HEP-a. Izgrađena je u razdoblju od kolovoza do listopada 2012. godine i službeno je počela sa radom 29.10.2012. godine. Površina elektrane sa pristupnim putevima i putevima za održavanje iznosi 18,386 m². Na danu površinu potrebno je optimalno rasporediti module, odrediti njihov broj, kut nagiba, predložiti način učvršćenja nosive konstrukcije, način električnog spajanja, predložiti fotonaponski izmjenjivač, procijeniti ukupne troškove instalacije, te godišnju proizvodnju električne energije.

Solarno postrojenje instalirane je snage 499,800 kW, a očekivana godišnja proizvodnja električne energije je 638 MWh, a radni vijek elektrane je 25 godina.

Fotonaponsku elektranu potrebno je osmisлити tako da radi automatski u svim vremenskim uvjetima. Svi dijelovi i komponente moraju biti osigurani i djelotvorni kako bi se osigurao siguran pogon i maksimalni radni vijek elektrane.

6.1.1. Osnovni podaci o fotonaponskoj elektrani u Orahovici

Osnovni tehnički podaci fotonaponske elektrane:

1. Pogonsko sredstvo: Sunce
2. Snaga : 499,925 kW
3. Procijenjena godišnja proizvodnja električne energije: 638 MWh
4. Vlastita potrošnja električne energije: do 10 kW
5. Nazivni napon na mjestu priključka: 10(20)kV
6. Nazivna frekvencija: 50 Hz
7. Način pogona: paralelno sa distribucijskom mrežom
8. Tehnologija: Fotonaponski sustav
9. Orijentacijska struktura: južna
10. Inklinacijska struktura: 30° sa horizontalnom osi
11. Broj pretvarača: 3

Elektroenergetska postrojenja kompleksa Fotonaponske elektrane obuhvaćaju:

- fotonaponske panele (2040 panela, grupiranih u nizove, kaskade i grupe),
- mrežne izmjenjivače (51 za grupe panela),
- sabirne kutije (17 kutija za grupiranje dovoda sa po tri mrežna izmjenjivača),
- podrazvodne kutije (6 ormara za grupiranje dovoda),
- transformatorsku stanicu 10(20)/0,4 kV,
- instalacije uzemljenja,
- instalacije gromobranske zaštite kompleksa

Osnovni elementi sustava fotonaponske elektrane su fotonaponski paneli i mrežni izmjenjivači.

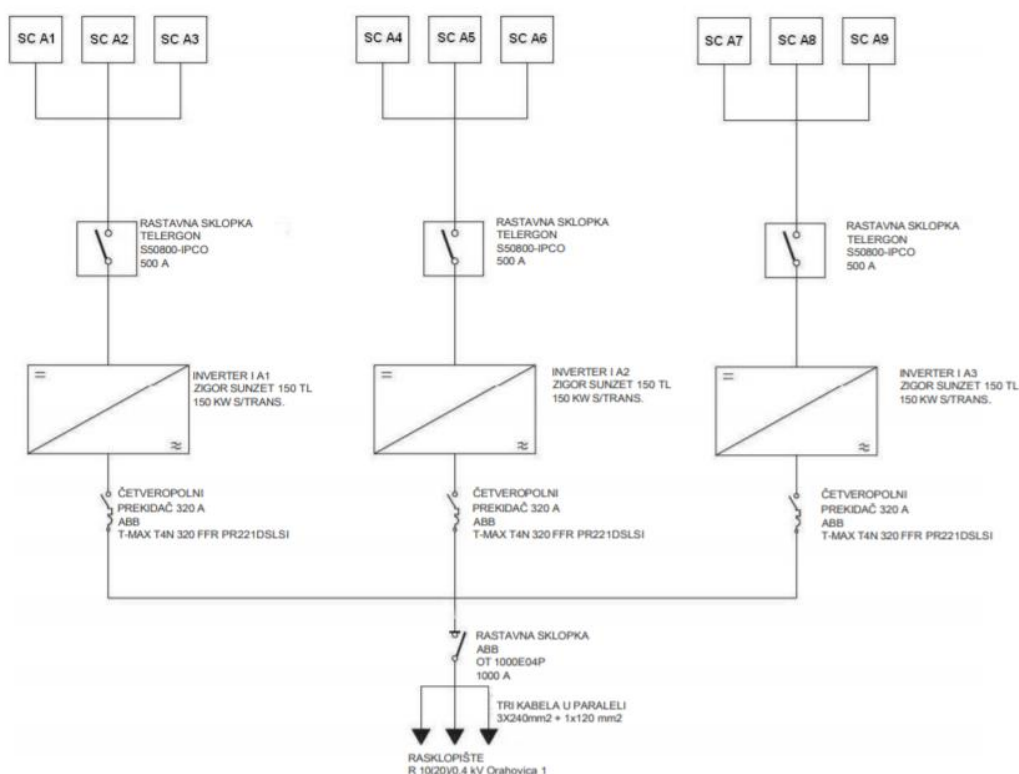
Istosmjerni razvod fotonaponske elektrane predstavlja serijsko povezivanje više fotonaponskih panela u nizove (eng. „string“) čime se diktira naponska razina istosmjerne (DC) strane mrežnog izmjenjivača. Nizovi se sastoje od 17 serijski povezanih fotonaponskih panela.

Mrežni izmjenjivači omogućavaju paralelno povezivanje nekoliko paralelnih nizova fotonaponskih panela čime se diktira struja mrežnog izmjenjivača na istosmjernoj strani.

Fotonaponski paneli spajaju se u seriju, gdje 17 spojenih panela čine jedan niz.

Nizovi fotonaponskih panela tvore kaskadu. Kaskada je naziv za paralelan spoj mrežnog izmjenjivača s istosmjerne strane sa 4 paralelna niza. Na svaki mrežni izmjenjivač priključeno je ukupno 51 fotonaponskih panela.

Nizovi završavaju u razvodnim ormarima za spajanje i upravljanje. Razvodni ormari za spajanje i upravljanje (SC) spajaju se na rastavne sklopke, te konačno na mrežne izmjenjivače. Prikaz povezivanja fotonaponskih panela na razvodne ormare za spajanje i upravljanje (SC) prikazan je na slici 23.



Slika 23. Prikaz povezivanja fotonaponskih panela na razvodne ormare za spajanje i upravljanje (SC)

Možemo reći da su fotonaponski paneli spojeni u 9 kaskada. Za realizaciju trofaznog priključka ugrađuju se tri mrežna izmjenjivača od kojih će se svaki povezati na jednu od faza trofaznog priključka.

Paneli su dimenzija 1650mm x 992mm x 45 mm postavljenih na aluminijsku konstrukciju. Sastoje se od fotonaponskih ćelija od monokristalnog silicija presvučenih antirefleksivnim slojem i smješteni su u aluminijsko kućište presvučeno oksidiranim slojem kako bi se povećala njegova trajnost prilikom izloženosti atmosferskim prilikama.

Fotonaponski modul sastoji se od 60 serijski spojenih ćelija dimenzija 156mm x 156mm.

Učinkovitost ćelije se kreće od 13% do 15% te se može reći da je to jedna od najučinkovitijih fotonaponskih ćelija. Ovaj tip ćelije može pretvoriti 1000 W/m^2 sunčevog zračenja u električnu snagu od 140 W s površinom ćelija od 1 m^2 .

Ovakav tip ćelija imaju očekivani životni vijek od 25 do 30 godina.

Da bi dobili maksimalnu ozračenost potrebno je imati optimalan kut zračenja. Moduli fotonaponske elektrane orijentirani su prema južnoj strani iz razloga što je ta strana tokom cijelog dana izražena sunčevim zračenjem te su postavljeni pod optimalnim nagibom od 30° .



Slika 24. Fotonaponski modul fotonaponske elektrane u Orahovici [27]



Slika 25. Fotonaponski niz panela [16]

Fotonaponska elektrana ukupno sadrži 2040 panela koji su grupirani u nizove, kaskade i grupe, a mrežnih izmjenjivača ima 51 za grupe panela.

Nizovi fotonaponskih panela se smještaju na odgovarajuće metalne nosače u tri reda, tvoreći gornji, srednji i donji red. Sa stražnje strane svakog od panela nalazi se ugrađena priključna kutija iz koje izlaze dva priključna kabela sa završnim konektorima koji omogućavaju priključak pozitivnog i negativnog pola fotonaponskog panela, odnosno njihovo međusobno povezivanje u nizove.

Tehnički podaci:

- Područje primjene: DC 24 V
- Radna temperatura: -40°C do $+85^{\circ}\text{C}$

Električne karakteristike:

- Maksimalni napon sustava: 1000 V DC
- Napon kod maksimalne snage: 30,6 V
- Struja kod maksimalne snage: 8,01 A
- Napon praznog hoda: 37,6 V
- Struja kratkog spoja: 9,08 A

Fotoćelije:

- Tip i promjer ćelija: polikristalne 156 x 156 mm
- Broj ćelija: u seriji 60 (6x10)
- Težina modula: 13,16 kg

Kako bi se postigla zadovoljavajuća naponska razina na mrežnom izmjenjivaču, fotonaponski paneli se povezuju u nizove. Povezivanjem 17 fotonaponskih panela u seriju postiže se ulazna naponska razina niza od približno 520 V koja odgovara istosmjernoj naponskoj razini na ulazu mrežnog izmjenjivača.

Sve veze među fotonaponskim panelima ostvarit će se povezivanjem ugrađenim priključnicama iz priključnih kutija. Priključni kabele će se voditi do razvodnih ormara za spajanje i upravljanje (SC), te konačno do mrežnih izmjenjivača.

Električne karakteristike i tehnički proračun za jedan solarni modul:

- snaga 245W
- napon otvorenog kruga iznosi 37,6 V
- napon u točki maksimalne snage iznosi 30,6 V
- struja kratkog spoja iznosi 9,08 A
- struja u točki maksimalne snage iznosi 8,01 A

Za jedan niz od serijski spojenih 17 modula vrijedi:

$$U_{max} = n \cdot U_{ok} = 17 \cdot 37,6 \text{ V} = 639,2 \text{ V}$$

Za jedan niz serijski spojenih modula vrijedi:

$$I_{max} = 9,08 \text{ A (struja kratkog spoja)}$$

Točka maksimalne snage za jedan niz serijski spojenih modula:

$$P_m = U_{max} \cdot I_{max} = 5803,936 \text{ W}$$

Maksimalna snaga fotonaponske ćelije:

$$P_m = U_m I_m = U_{ph} I_{ks} FF$$

$$FF = \frac{U_m I_m}{U_{ph} I_{ks}} = \frac{30,06 \cdot 8,01}{37,6 \cdot 9,08} = 0,705 \text{ faktor punjenja}$$

$$P_m = 37,6 \cdot 9,08 \cdot 0,705 = 240,692 \text{ W}$$

Mrežni izmjenjivači koriste se kako bi se ostvarila pretvorba proizvedenog istosmjernog napona i struje iz fotonaponskih panela u izmjenični napon i frekvencije 400/230 V, 50 Hz.

Mrežni izmjenjivač ima u sebi ugrađen uređaj za automatsku sinkronizaciju s mrežom, što omogućava paralelan rad fotonaponske elektrane s mrežom, radi predaje proizvedene energije u mrežu.

Osnovni dio izmjenjivača je poluvodički most sastavljen od upravljivih poluvodičkih sklopki koje visokom frekvencijom prekidaju istosmjerni napon i pretvaraju ga u izmjenični. Takav napon se filtrira i predaje elektroenergetskoj mreži. Osim pretvorbe istosmjernog u izmjenični napon izmjenjivač ima ugrađen još i niz zaštitnih funkcija potrebnih za siguran rad sustava. U sustavima manje snage (< 0,1 MW) elektrana se priključuje na niskonaponski vod distribucijske mreže napona 0,4 kV. U sklopu elektrane postoje i mjerni i komunikacijski uređaji koji omogućuju praćenje proizvodnje putem računala.

U fotonaponskoj elektrani ukupno je postavljeno 3 mrežna izmjenjivača, u trofaznom spoju.

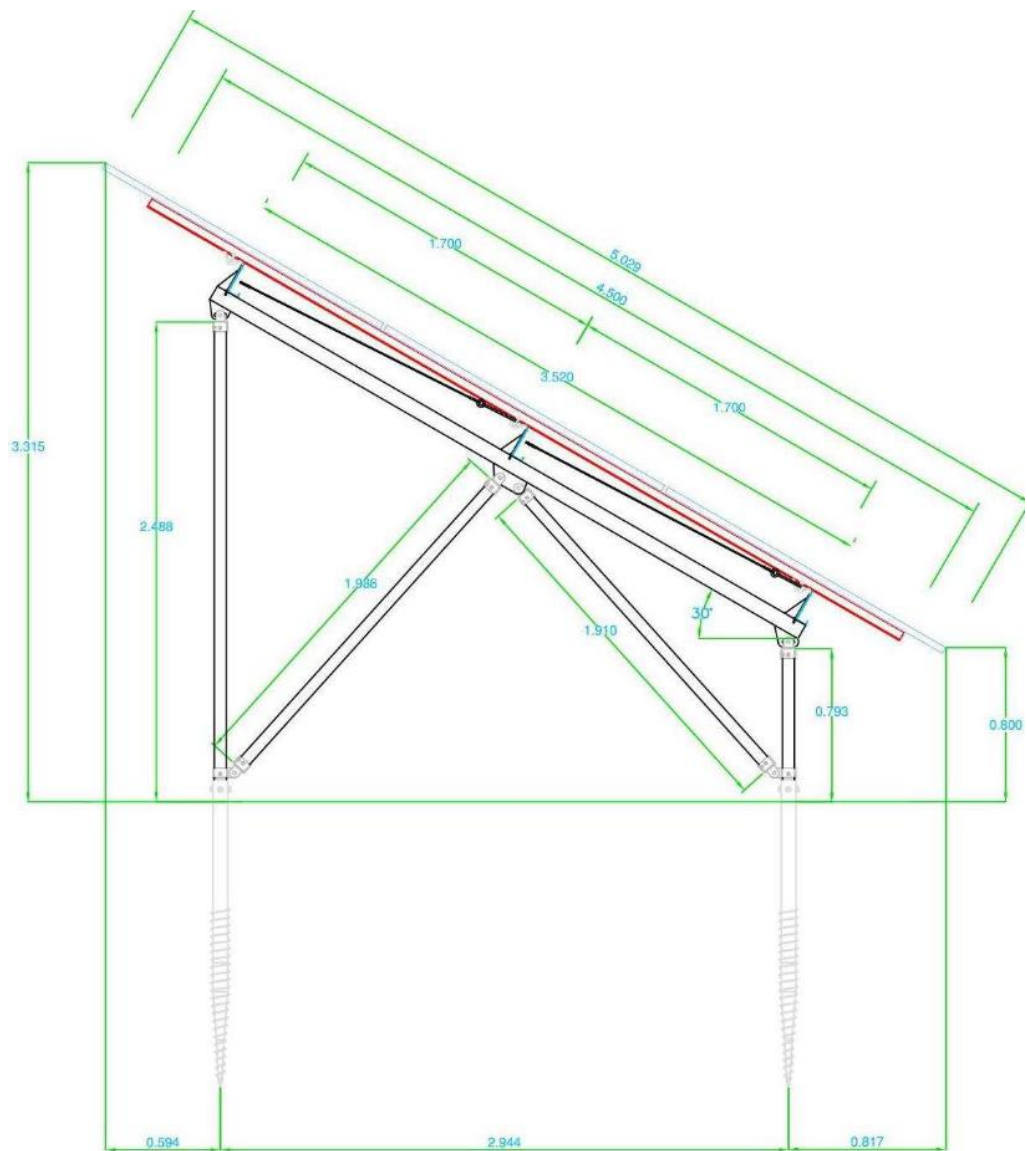
Svaki pojedinačni izmjenjivač ima nominalnu priključnu snagu s istosmjerne strane od 150 kW s maksimalnom ulaznom istosmjernom strujom od 533 A i naponskim rasponom priključka nizova fotonaponskih panela od 300 do 720 V.

Priključak mrežnih izmjenjivača u transformatorskoj stanici ostvaruje se na slijedeći način:

- na istosmjernoj strani dolazi iz razvodnih ormara za spajanje i upravljanje te se povezuju na pojedini mrežni izmjenjivač
- na izmjeničnoj strani mrežni izmjenjivač povezuje se podzemnim nisko naponskim kabelom sa HEP-ovim rasklopištem, u kojem se izvodi priključak i mjerenje na elektroenergetsku mrežu HEP-a.

Transformatorska stanica je zasebna građevina koja je izgrađena kao kabelska transformatorska stanica sa 3 mrežna izmjenjivača i pripadajućim istosmjernim i izmjeničnim razvodom.

Fotonaponski moduli montiraju se na aluminijsku konstrukciju. Konstrukcija se montira na nosače koji se postavljaju na zemlju. Nosiva konstrukcija povezana je na uzemljenje nosivih konstrukcija panela. [22]



Slika 26. Konstrukcija modula



Slika 27. Fotonaponska elektrana Orahovica 1 [16]

Procjena očekivane godišnje proizvodnje energije fotonaponske elektrane iznosi 544,167 kWh. Stvarna proizvodnja elektrane može odstupati zbog meteoroloških razloga i načina održavanja elektrane. Najveća mjesečna proizvodnja se očekuje u srpnju i to 69,882 kWh, a najmanja mjesečna proizvodnja u siječnju i to 17,398 kWh (Tablica 1.)

Tablica 1. Procjena godišnje proizvodnje energije elektrane

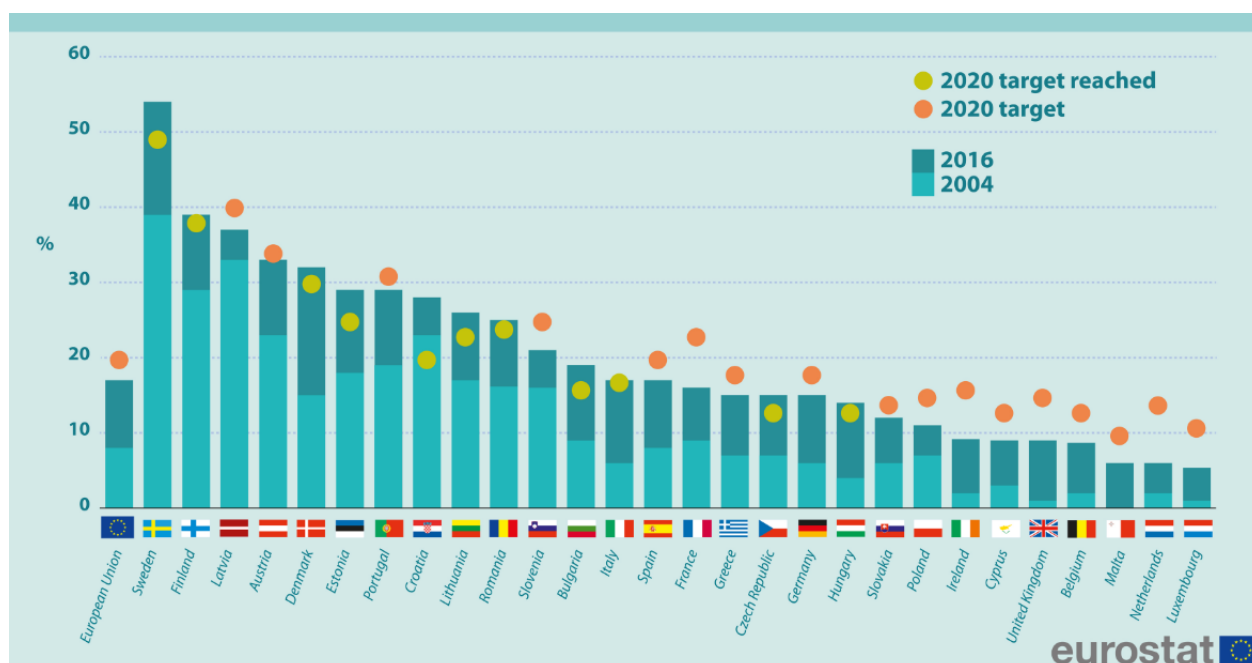
Mjesec	Ozračenost vodoravne plohe ukupnim Sunčevim zračenjem Wh/m²	Srednja dnevna temperatura zraka °C	Električna energija proizvedena modulima kWh	Električna energija predana u mrežu kWh
Siječanj	1,313	0,8	18,632	17,398
Veljača	2,044	3,5	21,768	20,984
Ožujak	2,966	8,1	41,526	40,444
Travanj	3,856	13,0	62,842	59,616
Svibanj	4,399	18,3	67,406	65,972
Lipanj	4,513	21,5	69,919	68,356
Srpanj	4,844	23,0	71,277	69,882
Kolovoz	4,583	22,8	71,424	69,829
Rujan	3,739	18,0	49,005	47,885
Listopad	2,697	14,3	38,245	37,504
Studen	1,548	7,6	26,454	26,017
Prosinac	1,071	1,7	20,623	20,280
UKUPNO			559,120	544,167

7. TRENUTNA SITUACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA

7.1. Stanje u Europskoj Uniji i svijetu

Prema najnovijem izvještaju na grafikonu 1. vidimo da je u posljednjih godina obnovljiva energija u snažnom porastu. Udio energije iz obnovljivih izvora energije porastao je s otprilike 8,5 % u 2004. godini na 17,0 % u 2016. godini. To je potaknulo ciljeve na daljnji rast obnovljivih izvora u 2020. godini.

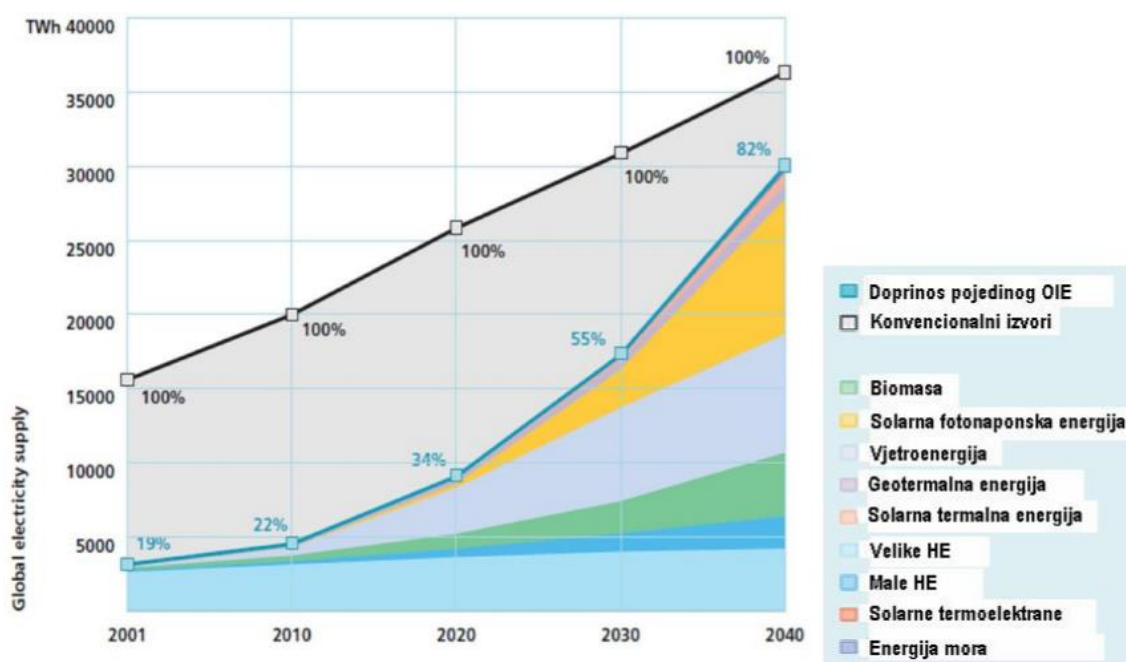
Hrvatska je osma zemlja u Europi prema udjelu obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije te je premašila cilj od 20% do 2020. godine.



Grafikon 1. Udio energije iz obnovljivih izvora 2004. i 2016. godine
(U % bruto konačne potrošnje energije) [19]

Među 28 zemalja članica Europske Unije, jedanaest ih je doseglo razinu potrebnu za ispunjavanje cilja zadanih do 2020. godine kao što su to Švedska, Finska, Danska, Estonija, Hrvatska, Litva, Rumunjska, Bugarska, Italija, Češka i Mađarska. Daleko od svojih ciljeva su Nizozemska, Francuska, Irska, Velika Britanija i Luksemburg.

Na grafikonu 2. prikazana je električna energija koja daje perspektivu energetske budućnosti u svijetu gdje se već u 2040. godini može postići održivi elektroenergetski sustav.



Grafikon 2. Pregled doprinosa obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije [19]

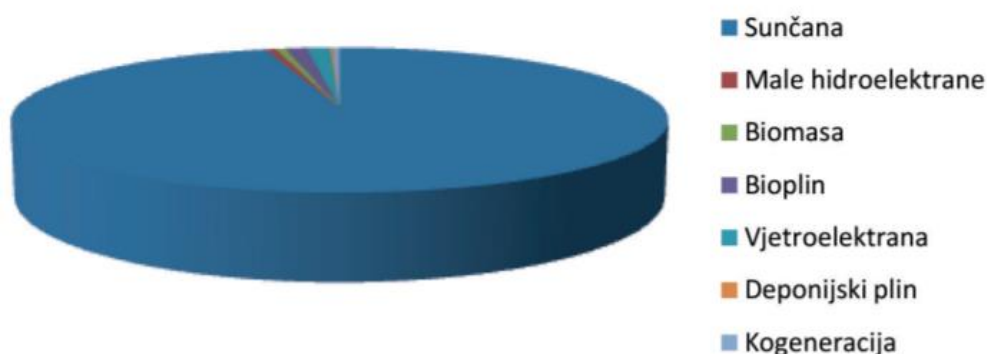
U planu je izgradnja novih postrojenja, uglavnom u zemljama u razvoju, dok je uporaba ugljena u samome padu. Prosječna starost elektrana u Aziji je oko 11 godina, dok je u Europi i SAD-u oko 40 godina, stoga će postojeća postrojenja još biti u funkciji nekoliko desetljeća.

Najveće tržište za obnovljive izvore energije u svijetu je Kina koja je nedavno promijenila svoju politiku o solarnim fotonaponskim sustavima gdje je cijena modula pala za 35%. Poruka posljednjeg izvješća Međunarodne energetske agencije je da bi moglo doći do pada na ulaganje u obnovljive izvore energije, ali je proizvodnja električne energije privukla više kapitala nego nafta i prirodni plin.

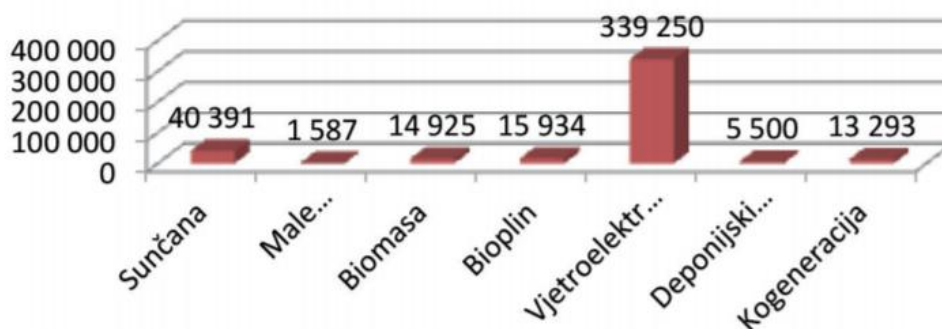
7.2. Stanje u Republici Hrvatskoj

Tehnički potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj je jako velik pri čemu samo sunčana energija ima dovoljan tehnički potencijal da u potpunosti pokrije potrebe za električnom energijom cijele države.

Od 2007. godine do sredine kolovoza 2015. godine prema podacima Hrvatskog operatera tržišta energije u pogon je ušlo 1207 postrojenja na obnovljive izvore energije. Ukupna instalirana snaga svih postrojenja je skoro 431 MW. Kada gledamo količinu postrojenja najviše ima sunčanih elektrana i to ukupno 1155 (95,69%), a nakon njih slijede vjetroelektrane koji ima 16, 15 elektrana na bioplin, 7 malih hidroelektrana, 7 elektrana na biomasu, 5 kongeneracijskih postrojenja i 2 elektrane na deponijski plin i plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda. Na popisu sunčanih elektrana u pogonu većinu čine mali sustavi snage od 30 kW, dok većih od 100 kW ima manje od 100. Prema tome uočavamo da u Hrvatskoj prevladavaju mali sunčani sustavi. [20]



Grafikon 3. Ukupan broj postrojenja obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj u 2015. godini - elektrane u pogonu [20]



Grafikon 4. Instalirana snaga u kW po tehnologiji obnovljivih izvora energije početkom 2015. godine – elektrane u pogonu [20]

Kada se gleda udio instalirane snage pojedinih obnovljivih izvora, prednjače vjetroelektrane kojih trenutačno u pogonu ima 16, a čiji je udio instalirane snage 78,74%. Elektrane na biomasu, bioplin, kogeneraciju i deponijski plin imaju prosječnu snagu od jednog do nekoliko MW, hidroelektrane imaju par stotina kW, dok vjetroelektrane imaju prosječnu snagu veću od 20 MW. [20]

Hrvatska ima oko 16% domaće proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, a to poboljšamo upravljanjem svojih resursa u domaćoj proizvodnji energije. Imamo velike mogućnosti da ravnomjerno i regionalno razvijemo domaće resurse koje možemo iskoristiti na svim nepovoljnim površinama i osigurati si sirovinu za industriju, proizvodnju topline i struje.

Od 2016. godine Hrvatska ima novi zakonodavni okvir: proizvodnja na mjestu potrošnje. Stoga je nužno razviti nove modele financiranja mikro postrojenja na obnovljive izvore energije na obiteljskim kućama, poljoprivrednim gospodarstvima, turističkim objektima i proizvodnim pogonima.

Problem je u tome što Hrvatska nije još u tolikoj mogućnosti da priušti danas jednu od jeftinijih izvora kao što su to Sunčeva energija i energija vjetera u Europi. Solarizacija na krovovima kuća je već dugo isplativa, a struja dobivena sunčevom energijom jeftinija je od biomase i plina. Nadanja su da ćemo do 2020. godine imati jeftiniju energiju, kao Danska i Njemačka sa sve većim povezivanjem cijele Europe.

8. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme obnovljivi izvori energije imaju sve veću važnost u elektroenergetskom sustavu, a razvijene zemlje u velikoj mjeri potiču njihovu upotrebu.

Očekuje se značajan napredak u tehnologiji korištenja obnovljivih izvora energije jer se u nju ulaže danas mnogo manje novaca nego u tehnologiju proizvodnje i korištenja fosilnih goriva te nuklearnu tehnologiju.

Među obnovljivim izvorima, energija Sunca je jedna od najperspektivnijih izvora energije. Fotonaponski sustavi najučinkovitije koriste sunčevu energiju te je izravno pretvaraju u električnu. Fotonaponski paneli su još uvijek skupi u odnosu na snagu, ali razvojem tehnologije dolazi do pada cijena i povećanja efikasnosti.

Postavljanjem solarnih toplinskih kolektora na krovove građevina diljem svijeta mogla bi se ostvariti ušteda za grijanje ili pripremu potrošne vode i do 50%. Samo jedan solarni sustav sa 6 m² solarnih toplinskih kolektora, tijekom svog radnog vijeka, koji traje oko 25 godina, proizvede 75000 kWh toplinske energije i pri tome se smanji ispuštanje ugljikova dioksida u okoliš za 30 tona.

Sunčeva energija bi kao izrazito prihvatljiv izvor energije u bliskoj budućnosti mogla postati glavni nositelj ekološki održivog energetskog razvoja. Zbog toga se intenzivno istražuju novi postupci i procesi pretvorbe sunčeve energije u električnu, toplinsku ili energiju hlađenja. Uzmemo li u obzir visoke cijene nafte, stoljetno crpljenje fosilnih izvora energije i sve strože ekološke zakone i propise, možemo zaključiti kako će korištenje sunčeve energije, uz zaštitu okoliša, postati posao budućnosti.

POPIS LITERATURE

[1] Obnovljivi.com

URL: <http://obnovljivi.com/energija-sunca/50-povijest-koristenja-energije-sunca>

[2] Ljubomir Majdandžić. Fotonaponski sustavi, Priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu

URL: http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf

[3] Ljubomir Majdandžić. Solarni sustavi, Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata. Zagreb.

URL: [file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/161436450-SOLARNI-SISTEMI%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/161436450-SOLARNI-SISTEMI%20(3).pdf)

[4] Zdeslav Matić. Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske. Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja. Zagreb. 2007.

URL: <file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/298322.Matic-978-9536474547red.pdf>

[5] Dr.sc. Marijana Kraljić Roković, docent. Energija sunca.

URL: https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Energija_Sunca2.pdf

[6] Izvori energije. Energija Sunca. 2006.

URL: http://www.izvorienergije.com/energija_sunca.html

[7] Dubravka Čolak, spec. upravljanja procesima. Energija sunca kao značajan potencijal smanjenja energetske ovisnosti Republike Hrvatske. Pula. 2012.

URL: https://www.politehnika-pula.hr/download/repository/Dubravka_Colak_separat_diplomskog_specijalistickog_rada.pdf

[8] Prirodoslovna lepeza za mlade znanstvenike – suvremena nastava za izazove tržišta, Energija sunca i fotonaponske ćelije.

URL: <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/2-energija-sunca-i-fotonaponske-celije/>

[9] EKO.ZAGREB.HR. GRADSKI URED ZA ENERGETIKU, ZAŠTITU OKOLIŠA I ODRŽIVI RAZVOJ.

URL: <http://eko.zagreb.hr/print.aspx?id=85>

[10] Izv. prof. dr. sc. S. Lozić. Odabrana poglavlja iz klimatologije, Sunčeva energija, Odjel za geografiju. Sveučilište u Zadru.

URL: <http://www.unizd.hr/Portals/6/nastavnici/Sanja%20Lozic/OPK%205%20-%20Sun%C4%8Deva%20energija.pdf>

[11] Stanko Vincek, Ljubivoj Cvitaš: Sustav za nadzor i upravljanje pozicionera fotonaponskih ploča.

URL: file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/tj_8_2014_2_134_139.pdf

[12] Zdeslav Matić: Sunčeva energija. 2007.

URL: <https://www.slideshare.net/valent/suneva-energija-zdeslav-mati>

[13] Wikipedija. Solarna fotonaponska energija.

URL: https://sh.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija

[14] Andrej Čotar, dipl.ing., Andrej Filčić, dipl.oec., Fotonaponski sustavi. Rijeka, 2012.

URL: http://www.irena-istra.hr/uploads/media/Fotonaponski_sustavi_01.pdf

[15] D. Srpak, S.Stijčić, I. Šumiga. Izgradnja sunčane elektrane na studentskom restoranu u Varaždinu.

URL: https://bib.irb.hr/datoteka/789753.tj_8_2014_4_433_437.pdf

[16] Obnovljivi izvori.

Preuzeto sa: <http://www.obnovljivi.com/obnovljivi-izvori-energije-u-regiji/1587-fne-orahovica-1>

[17] Doc.dr.sc. Damir Šljivac, Doc. dr. sc. Zdenko Šimić. Obnovljivi izvori energije. Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija. 2009.

URL: <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>

[18] Eurostat; Statistic Explained

URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/hr

[19] Mr.sc. Davor Sokač; Regulativa vezana za distribuirane izvore, uključujući i specifične probleme obnovljivih izvora i kogeneracijskih postrojenja, 2012.

URL: <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO4-15.pdf>

[20] Zelena energetska zadruga. Prelazak Hrvatske na 100% obnovljivih izvora energije. Zelena energetska zadruga. Zagreb. 2015.

URL: https://www.parentium.com/database/privici/52161_1.pdf

[21] Koordinacija zaštite fotonaponske elektrane snage 500 kW na distribucijsku mrežu. Osijek. 2015.

URL: https://www.researchgate.net/profile/Srete_Nikolovski/publication/282211622_Koordinacija_zastite_fotonaponske_elektrane_snage_500_kW_na_distribucijsku_mrezu_Protection_coordination_of_photovoltaic_power_plant Rated power of 500 kW on the distribution network/links/5607c26308ae8e08c0928710/Koordinacija-zastite-fotonaponske-elektrane-snage-500-kW-na-distribucijsku-mrezu-Protection-coordination-of-photovoltaic-power-plant-rated-power-of-500-kW-on-the-distribution-network.pdf?origin=publication_list

[22] Branimir Pašić, dipl.ing.arh., Ratko Radaković, mag.ing.el, Glavni elektrotehnički projekt, Osijek, kolovoz 2012.

[23] Strateški program razvoja grada Orahovice. Grad Orahovica. 2015.-2020.

URL: <https://www.orahovica.hr/phocadownload/StrateskiProgramRazvojaGradaOrahovice2015-2020/Strateski%20Program%20Razvoja%20Grada%20Orahovice%202015.%20-%202020.pdf>

[24] Lider. IEA upozorava na zabrinjavajući trend – padaju investicije u obnovljive izvore energije. 2018.

URL: <https://lider.media/preporuka-urednika/iea-upozorava-na-zabrinjavajuci-trend-padaju-investicije-u-obnovljive-izvore-energije/>

[25] Lider, Energetika budućnost Hrvatske – Maja Pokrovac: Obnovljivi izvori smanjuju uvoz energije za milijardu kuna godišnje. 2018.

URL: <https://lider.media/aktualno/biznis-i-politika/hrvatska/energetska-buducnost-hrvatske-maja-pokrovac-obnovljivi-izvori-smanjuju-uvoz-energije-za-milijardu-kuna-godisnje/>

[26] Lider, Duić: Do 2050. moguće je zamijeniti fosilno gorivo. 2017.

URL: <https://lider.media/aktualno/duic-2050-moguce-je-zamijeniti-fosilno-gorivo/>

[27] Obnovljivi izvori energije, Struja iz prirode, Solarna tehnologija, Solarna elektrana Orahovica.

URL: <https://www.strujaizprirode.com/projects/solarna-elektrana-orahovica/>

[28] Ratko Radaković, mag.ing.el., Renewable Energies Sunstroom, Sunstroom energija.d.o.o., Osijek, 2012.

URL:

<file:///C:/Users/Korisnik/Desktop/FNE%20OR%201/FNE%20OR%201/PRILOG%20III%20-%20tehni%C4%8Dki%20opis%20izgra%C4%91enog%20postrojenja.pdf>

[29] Grad Orahovica. Fotonaponska elektrana Orahovica 1. Glavni projekt –Projekt više struka. Tehnički opis. Zagreb. 2010.

[30] HEP VJESNIK, NOVA KOGENERACIJA U EL-TO ZAGREB, SUNČANA ELEKTRANA NA OTOKU CRESU, HEP ODS UVODI NAPREDNE MREŽE, 2018

URL: https://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/vjesnik/2018//3_2018.pdf

ŽIVOTOPIS

Tihana Rončević rođena je 24.02.1993. godine u Našicama. Pohađala je Osnovnu školu Ivane Brlić Mažuranić u Orahovici, te nakon toga upisuje Opću gimnaziju u Srednjoj školi Stjepan Ivšić u Orahovici. Nakon završene gimnazije upisuje Preddiplomski studij fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku kojim dobiva titulu prvostupnice fizike. Dalje nastavlja sa diplomskim studijem fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.